

**OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO BASADOS EN LA
METODOLOGÍA PMO PARA LOS SISTEMAS PRINCIPALES DE UNA
LOCACIÓN REMOTA DE PRODUCCIÓN DE GAS.**

MÓNICA DEL PILAR GUERRERO ORTEGA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2017**

**OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO BASADOS EN LA
METODOLOGÍA PMO PARA LOS SISTEMAS PRINCIPALES DE UNA
LOCACIÓN REMOTA DE PRODUCCIÓN DE GAS.**

MÓNICA DEL PILAR GUERRERO ORTEGA

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: INGENIERO FREDY ANTONIO GARCÍA PINEDA
Ingeniero Mecánico**

**Especialista de Ingeniería y Gestión de Mantenimiento con mención en
Confiabilidad y Riesgo**

Certificaciones:

CMRP: Certified Maintenance & Reliability Professional

CRL: Certified Reliability Leader

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2017**

DEDICATORIA

Dedico este proyecto, a papá Dios, quien me dio sabiduría, inteligencia y fortaleza, permitiéndome cumplir cada una de mis metas y objetivos propuestos en mi vida.

Dedico también este logro a mi mamá, quien estuvo apoyándome en el transcurso de mi vida, tanto personal como profesional.

Por ultimo dedico este logro a mi esposo, quien fue un apoyo incondicional en este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios todo poderoso por permitirme llegar a culminar mis estudios de posgrado, estando de la mano de él, he logrado cumplir esta y muchas metas más.

Agradezco de todo corazón a mi mama María del Pilar Guerrero, ya que debido a todas sus enseñanzas y esfuerzos, soy lo que soy ahora.

De igual manera agradezco a la Universidad Industrial de Santander, en especial a la facultad de Ingeniería y al Departamento de Ingeniería Mecánica por su apoyo incondicional y acompañamiento durante el desarrollo de mi crecimiento como profesional.

A su vez agradezco al director de la monografía Fredy García Pineda, por brindarme su constante apoyo, total colaboración y experiencia para el desarrollo de este proyecto de grado.

Así mismo agradezco a las personas que estuvieron a mi lado brindándome su apoyo, conocimiento y colaboración para cumplir con esta meta.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	18
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	22
1.1. MARCO CONTEXTUAL	22
1.1.1 Reseña Histórica de Producción de Gas en Latinoamérica.	22
1.1.2 Ubicación Geográfica.....	24
1.1.3 Descripción del Proceso de Tratamiento y Distribución para venta del Gas	25
1.1.3.1 Acondicionamiento Primario del Gas.....	27
1.1.3.2 Deshidratación.....	28
1.1.3.3 Separación Criogénica.....	28
1.1.3.4 Regulación & Medición de Gas de Ventas.....	29
1.1.3.5 Almacenamiento & Bombeo de Hidrocarburos Líquidos.	29
1.1.3.6 Estabilización de Condensado.....	29
1.1.3.7 Compresión de Gas Residual.....	30
1.2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LA LOCACIÓN DE GAS C3	31
1.2.1 Sub- Sistema para Acondicionamiento de Gas Combustible	32
1.2.2 Sub- Sistema de Generación Eléctrica de Emergencia.....	34
1.2.3 Sub- Sistema de Generación de Aire de Instrumentos y Servicios	35
1.2.4 Sub- Sistema de Generación de Drenajes y Venteos	36
1.2.5 Sub- Sistema de Generación de Inyección de Químicos.....	37
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	41
3. OBJETIVOS.....	42
3.1 OBJETIVOS GENERALES:	43
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	43
4. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO	43
5. MARCO TEÓRICO	45
5.1 YACIMIENTO DE GAS.....	46
5.1.1 Tipo de Gas Húmedo.....	46
5.1.2 Tipo de Gas Seco.....	46
5.1.3 Tipo de Gas Condensado.....	47
5.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	47
5.2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM.....	49
5.2.1.1 Beneficios del RCM.....	49
5.2.1.2 Equipo de Trabajo para los Talleres de RCM.....	52

5.2.2 OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO (PMO)	53
5.2.2.1 Beneficios del PMO	54
5.2.2.2 Descripción del Proceso del PMO	56
5.2.2.3 Consolidación y Análisis de la Estrategia Actual de Mantenimiento. ¹³	63
5.2.2.4 Equipos Multifuncionales de Trabajo para PMO	64
6. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL PMO AL CAMPO PRODUCTOR DE GAS	65
6.1 DEFINICIÓN DE LA LOCACIÓN	66
6.2 DESCRIPCION DE EQUIPOS DE SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO	70
6.3 DESARROLLO DE LOS 9 PASOS DE PMO	73
6.3.1 Recolección de Tareas	73
6.3.2 Análisis de Modos de Falla Dominante por Activo	74
6.3.3 Racionalización y Revisión por Medio de Talleres de PMO	76
6.3.4 Definición de la Política de Mantenimiento	79
6.3.5 Aprobación de las modificaciones realizadas	84
7. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO (PMO)	85
7.1 HOJA DE RUTA SECADOR DE AIRE (VE)	85
7.2 HOJAS DE RUTA DE COMPRESORES DE AIRE (CO)	92
7.3 HOJAS DE RUTA DE LA INSTRUMENTACIÓN	97
7.3.1 PCV Modelo 95H (Sistema de aire)	97
7.3.1.1 Resumen General VE 24, Pressure Control Valve (PCV)	99
7.3.2 Hoja de Ruta IP 68 Transmisores de Presión Diferencial y de Flujo	102
7.3.2.1 Resumen General IP 68 Transmisores de Presión	104
7.3.3 Hoja de Ruta IP 70 (1A PMO Transmisor Nivel/Presión Hart)	107
7.3.3.1 Resumen General de IP 70 Transmisor Nivel/Presión Hart)	109
7.3.4 Hoja de Ruta VA 26 Válvulas de Seguridad	109
7.3.4.1 PSV Sistema de Aire	110
7.3.4.2 Resumen General VA 26 Válvulas de Seguridad	111
7.3.5 VA 23 Control Valve PCS	115
7.3.5.1 LV Flare System	115
7.3.5.2 Resumen General VA 23 (Control Valve (PCS))	117
7.3.6 Hoja de Ruta IP 71 / IP 72 / IP 74 (Switches)	118
7.3.6.1 Resumen General IP 71 / 72 / 74 (Switches)	120
7.3.7 Hoja de Ruta VA 69 y 70 (SDV_Flare_System)	122
7.3.7.1 Resumen General VA 69 y 70 (SDV_Flare_System)	123
7.3.8 Hoja de Ruta IP1_13 y IP1_14 (Level Gauge Flare System)	124

7.3.8.1 Resumen General IP1_13 y DP_IP1_14 (Level Gauge Flare System)	126
7.3.9 Hoja de Ruta MS1 Flame Arrestor 12M (PCS)	127
7.3.9.1 Resumen General MS_1 (Flame Arrestor 12M (PCS))	128
7.4 INSTRUMENTOS INYECCIÓN DE QUÍMICA	129
7.5 HOJAS DE RUTA DE BOMBAS DE INYECCIÓN DE QUÍMICA.	130
7.5.1 Hoja de Ruta PU 3_27.....	130
7.5.2 Hoja de Ruta PU 3_28.....	132
7.5.3 Hoja de Ruta PU 3_29.....	134
7.5.3.1 Resumen General de Hojas de Ruta Asociadas a las Bombas de Inyección de Química..	136
7.6 Hojas de Ruta Bombas de Exportación	136
7.6.1 Resumen General de Hojas de Ruta Asociadas a las Bombas de Exportación.....	138
8. HALLAZGOS Y RECOMENDACIONES	139
8.1 HALLAZGOS	139
9. CONCLUSIONES	140
RECOMENDACIONES	142
10. BIBLIOGRAFÍA	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Consumo de Energía en 1995 y proyecciones al 2020	22
Figura 2. Oferta Energética Total y Oferta de Gas en el Mercado Interno	23
Figura 3. Comparación de los Precios del Gas Natural.....	24
Figura 4. Ubicación Geográfica de Producción de Gas en América Latina...	25
Figura 5. Diagrama de Bloques del Proceso de tratamiento y Distribución de Gas.	26
Figura 6. Diagrama Funcional de Bloques (Sub-Sistemas).....	31
Figura 7. Diagrama de Flujo de Acondicionamiento de Gas Combustible	33
Figura 8. Diagrama de Flujo de Generación de Aire de Instrumentos y Servicios.....	35
Figura 9. Diagrama de Flujo de Drenajes y Venteos	37
Figura 10. Diagrama de Flujo de Inyección de Químicos.....	39
Figura 11. Diagrama integrado de Flujo.....	40
Figura 12. Evolución del Mantenimiento	48
Figura 13. Proceso del RCM Implementado	52
Figura 14. Grupo de Trabajo de RCM.....	53
Figura 15. Fuentes de Información del PMO	56
Figura 16. Selección de Tareas Según el Tipo de Falla.....	60
Figura 17. Flujograma de Optimización de Mantenimiento Planificado.....	62
Figura 18. Horas Hombre por Correctivo.....	67
Figura 19. Producción MMSCF Total.....	68
Figura 20. Facilidades de Locación C3	72
Figura 21. Planes de Mantenimiento Existentes de Locación de Gas	73
Figura 22. Análisis de Modos de Falla	76
Figura 23. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta (VE5).....	86
Figura 24. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VE 6	87
Figura 25. Distribución de Actividades por Especialidad	88
Figura 26. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta VE 6.....	89
Figura 27. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VE 8	89
Figura 28. Distribución de Actividades por Especialidad	91
Figura 29. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta VE 8.....	91
Figura 30. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta CO 42.....	93
Figura 31. Distribución de Actividades por Especialidad	94
Figura 32. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta CO 43.....	95
Figura 33. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta CO 43.....	95
Figura 34. Instrumentación C3.....	97
Figura 35. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VE 24 95H.....	97
Figura 36. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta VE 24.....	99
Figura 37. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta IP 68.....	103
Figura 38. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta IP 68.....	104
Figura 39. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta IP 70.....	107

Figura 40. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta IP 70	108
Figura 41. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VA_26	110
Figura 42. Tipos de Tareas Definidas para la hoja de Ruta VA 26	111
Figura 43. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VA23	115
Figura 44. Tipos de Tareas Definidas Para la Hoja de Ruta VA 23	116
Figura 45. Estatus de las tareas analizadas Hoja de ruta IP 71	119
Figura 46. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta IP 71.	119
Figura 47. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VA69	122
Figura 48. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta VA 69	123
Figura 49. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta DP_IP1_13.....	125
Figura 50. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta DP_IP1_13	126
Figura 51. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta DP_MS_1	127
Figura 52. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta VA 69	128
Figura 53. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta PU 3_27	131
Figura 54. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta PU 3_28	132
Figura 55. Distribución de Actividades por Especialidad	133
Figura 56. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta PU 3_28	134
Figura 57. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VE 8	135
Figura 58. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta PU2 66	137

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de Modos de Falla.....	57
Tabla 2. Identificación de Modos de Falla Duplicados	58
Tabla 3. Análisis Funcional.....	58
Tabla 4. Evolución de Consecuencias	59
Tabla 5. Definición de Política de Mantenimiento	60
Tabla 6. Porcentajes de priorización para cada aspecto de evaluación.	66
Tabla 7. Costos de Mantenimientos Preventivos y correctivos 2014- 2016. ..	67
Tabla 8. Puntaje asignado por aspecto de evaluación	69
Tabla 9. Prioridad de locaciones para implementar PMO	70
Tabla 10. Sistemas Definidos en el Alcance.....	71
Tabla 11. Facilidades de la Locación C3.....	71
Tabla 12. Descripción de Puestos de Trabajo	74
Tabla 13. Operaciones realizadas en el Taller de PMO.....	77
Tabla 14. Racionalización y Revisión por Medio de Talleres de PMO.....	78
Tabla 15. Identificación de Modos de Falla duplicados del Compresor de Aire	80
Tabla 16. Definición de la Política de Mantenimiento	83
Tabla 17. Resumen General de Hojas de Ruta Asociadas a Secadores de Aire	92
Tabla 18. Resumen General de Hojas de Ruta asociadas a compresores de aire	96
Tabla 19. Resumen General PCV Modelo 95H (Sistema de aire)	99
Tabla 20. Resumen General PCV Modelo Fisher 95L	100
Tabla 21. Resumen General PCV Modelo (Fisher 627)	100
Tabla 22. Resumen General PCV Modelo (Fisher D4).....	101
Tabla 23. Resumen General PCV Modelo (Fisher 630)	101
Tabla 24. Transmisores de Presión (Comunicación Fieldbus)	105
Tabla 25. Transmisores de Nivel Diferencial REOSEMOUNT.....	105
Tabla 26. Transmisores de Nivel VEGA	105
Tabla 27. Transmisores de Nivel Remotos	106
Tabla 28. Transmisores de Presión Diferencial Rosemount	106
Tabla 29. Transmisor Nivel/Presión (Comunicación Hart)	109
Tabla 30. PSV (Válvulas de Seguridad Sistema de Aire)	112
Tabla 31. PSV (Válvulas de Seguridad Chemical Injection)	112
Tabla 32. PSV (Válvulas de seguridad Flare System)	113
Tabla 33. PSV (Válvula de seguridad Fuel Gas Filter)	113
Tabla 34. PSV (Válvula de Seguridad Fuel Gas Generation System)	113
Tabla 35. PSV (Válvulas de Seguridad Flare Gas System).....	114
Tabla 36. PSV (Válvulas de Seguridad Pig Launcher System).....	114
Tabla 37. Válvula de Nivel (LV) (Fisher D4 2")	117
Tabla 38. PSV (Válvulas de seguridad Flare System)	118
Tabla 39. Switch de Presión.....	120

Tabla 40. Switch de Nivel	121
Tabla 41. Switch de Flujo	121
Tabla 42. VA 69 y 70 (SDV_Flare_System).....	124
Tabla 43. Hoja de Ruta IP1 13 (Level Gauge Flare System).....	126
Tabla 44. Hoja de Ruta IP 14 (Level Gauge Flare System)	127
Tabla 44. Hoja de Ruta MS 1 Flame Arrestor 12M (PCS)	129
Tabla 45. Hojas de Ruta de Instrumentación de Bombas de Químico	130
Tabla 46. Hojas de Ruta de Bombas de Inyección.....	136

ANEXOS

ANEXO A. FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE LA LOCACIÓN DE GAS C3.

ANEXO B. DESARROLLO DE LOS TALLERES PMO DE LOS EQUIPOS DE LA LOCACIÓN DE GAS C3.

Anexo 1. PMO_DP_VE_5_6_8_Rev_1_VF Aire

Anexo 2. PMO_DP_CO_42_compresor_aire V3

Anexo 3. PMO_DP_CO_43_compresor_aire V3

Anexo 4. PMO_DP_VA_24_PCV_Rev_2_VF (95H)

Anexo 5. PMO_DP_VA_24_PCV_V2_ (Fisher, Series 95L)

Anexo 6. PMO_DP_VA_24_PCV_ (Fisher 627)

Anexo 7. PMO_DP_VA_24_PCV_ (Fisher D4)

Anexo 8. PMO_DP_VA_24_PCV_ (Fisher 630)

Anexo 9. PMO_DP_IP_68_Transmisores de presión_Rev_1_VF (Comunicación fieldbus)

Anexo 10. PMO_DP_IP_68_transmisor_nivel_ROSEMOUNT DIFERENCIAL_VF

Anexo 11. PMO_DP_IP_68_transmisor_nivel_VEGA_VF

Anexo 12. PMO_DP_IP_68_transmisor_nivel_Sellos_Remotos

Anexo 12. PMO_DP_IP_68_transmisor_nivel_Sellos_Remotos

Anexo 14. DP_IP_70_Transmisores de presión_Rev_2_VF (Comunicación Hart)

Anexo 15. PMO_DP_VA_26_PSV_air_system_cash-3_Rev_2

Anexo 16. PMO_DP_VA_26_PSV_chemical_inj_rev_0

Anexo 17. PMO_DP_VA_26_PSV_flare_system_cash-3

Anexo 18. PMO_DP_VA_26_PSV_fuel_gas_filter

Anexo 19. PMO_DP_VA_26_PSV_fuel_gas_generation_system

Anexo 20. PMO_DP_VA_26_PSV_fuel_gas_system

Anexo 21. PMO_DP_VA_26_PSV_pig_launcher_system

Anexo 22. PMO_DP_VA_23_LV_flare system (Fisher D4 2in)

Anexo 23. PMO_DP_VA_23_LV_fuel_gas_system (Fisher EZ)

Anexo 24. PMO_DP_IP_71_switch_presion_flare_system

Anexo 25. PMO_DP_IP_72_switches_nivel_flare_system

Anexo 26. PMO_DP_IP_74_switch_flujo_chemical_inj

Anexo 27. PMO_DP_VA_69_DP_y_70_SDV_flare system

Anexo 28. PMO_DP_IP1_13_DP_IP1_14_level_gauge_flare_system

Anexo 29. PMO_DP_MS_1_flame_arrestor_flare_system

Anexo 30. PMO_DP_VA1_20_valvulas_check_chemical_inj

Anexo 31. PMO_DP_VA_69_DP_VA_70_SDY_chemical_inj

Anexo 32. PMO_DP_VA_46_PVSV_chemical_inj

Anexo 33. PMO_DP_PU 3_27_28_29_Rev4

Anexo 33. PMO_DP_PU 3_27_28_29_Rev4

RESUMEN

TITULO: OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO BASADOS EN LA METODOLOGÍA PMO PARA LOS SISTEMAS PRINCIPALES DE UNA LOCACIÓN REMOTA DE PRODUCCIÓN DE GAS.¹

AUTOR (ES): MÓNICA DEL PILAR GUERRERO ORTEGA

PALABRAS CLAVES: OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO (PMO), MODOS DE FALLA, ESTRATEGIA, CRITICIDAD, PLANTA DE GAS.

DESCRIPCION:

El presente trabajo tiene como objetivo estratégico mejorar la disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y seguridad de los activos de las locaciones críticas de gas, dentro de los cuales están los compresores de aire, bombas de transferencia e inyección de químico, con el fin de optimizar el proceso de mantenimiento para cada uno de ellos y así aumentar la disponibilidad operativa de los activos, dentro de su ciclo de vida (Opex).

Este proceso se desarrolló por medio de la optimización del Programa de Mantenimiento actual para los equipos de la locación de gas, bajo una metodología basada en confiabilidad (PMO) donde solo perduren las actividades que generan valor para los activos y la organización, lo cual forma un balance entre el riesgo, los costos y la disponibilidad operativa de los activos.

Para la implementación de esta estrategia de mantenimiento se realizó un diagnóstico y análisis del programa de mantenimiento actual, donde se identificó las desviaciones en su estructuración que llegan a afectar la efectividad de un programa preventivo, como tareas duplicadas e innecesarias, modos de fallas repetitivos e inadecuada planeación de los recursos.

Luego de tener en cuenta estas desviaciones se plantean unas rutinas de mantenimiento de acuerdo a la operación de los equipos que permitan preservar su función, teniendo en cuenta los recursos necesarios, tanto mano de obra como repuestos para la ejecución de las tareas definidas y sobre todo que estas mismas permitan maximizar la disponibilidad de los activos del alcance de este proyecto, reduciendo los tiempos de paradas con el fin de incrementar la capacidad operativa y reducir costos en reparación y logística.

¹ Monografía

Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Fredy García. Ingeniero Mecánico

SUMMARY

TITLE: OPTIMIZATION OF MAINTENANCE PLANS BASED ON THE PMO METHODOLOGY FOR THE MAIN SYSTEMS OF A REMOTE LOCATION OF GAS PRODUCTION.²

AUTHOR (S): MÓNICA DEL PILAR GUERRERO ORTEGA

KEY WORDS: OPTIMIZATION OF THE MAINTENANCE PLAN (PMO), MODES OF FAILURE, STRATEGY, CRITICITY, GAS PLANT,

DESCRIPTION:

The objective of this work is to improve the availability, maintainability, reliability and safety of the assets of critical gas locations, including air compressors, transfer pumps and chemical injection, in order to optimize the Maintenance process for each of them and thus increase the operational availability of the assets, within their life cycle (Opex).

This process was developed through the optimization of the current Maintenance Program for the equipment of the gas location, under a methodology based on reliability (PMO) where only the activities that generate value for the assets and the organization last, which forms A balance between risk, costs and the operational availability of the assets.

For the implementation of this maintenance strategy, a diagnosis and analysis of the current maintenance program was carried out, identifying the deviations in its structuring that affect the effectiveness of a preventive program, such as duplicate and unnecessary tasks, repetitive failure modes and Inadequate resource planning.

After taking into account these deviations, a routine of maintenance is considered according to the operation of the equipment that allows to preserve its function, taking into account the necessary resources, both labor and spare parts for the execution of the defined tasks and above all That these allow to maximize the availability of the assets of the scope of this project, reducing the times of stops in order to increase the operative capacity and reduce costs in repair and logistics.

² Monografy

School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization.
Director: Fredy Garcia, Mechanical Engineer

INTRODUCCIÓN

La industria oil & gas en los últimos años ha venido atravesando por una difícil crisis económica, la cual ha afectado en gran manera a los diferentes sectores de esta industria; lo que incluye perforación, transporte, explotación y extracción, trayendo como consecuencia la reducción de costos en la inversión de nuevos proyectos, logística, el mantenimiento de sus activos, entre otras. Es ahí donde se requiere la responsabilidad y el involucramiento de producción, mantenimiento, proyectos y las demás áreas que conforman esta industria, para generar soluciones que optimicen los costos y recursos, aprovechando las oportunidades de mejora que se pueden capitalizar, garantizando cumplir con las expectativas y requerimientos de la producción, mejorando la efectividad en los activos y recursos tanto humanos como materiales y de esta manera aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos a un menor costo.

Normalmente el mantenimiento en cualquier organización, tiene una mala imagen por sus elevados costos y el impacto que tiene si se ve afectada la producción, es visto como una isla aparte del negocio, ya que no lo ven como una inversión si no como un gasto más. Por esta razón, de acuerdo al artículo Estrategias de Mantenimiento en Plantas Industriales³ argumenta él porque es indispensable por parte del área de mantenimiento generar una nueva estrategia de mantenimiento de acuerdo a la necesidad del cliente, la cual debe ser flexible y adaptable a los cambios, que no solo disminuya costos y aumente producción, sino que también tenga en cuenta la combinación de eficiencia, seguridad, disponibilidad y confiabilidad, generando participación e integración de todos los colaboradores, haciendo un cambio de cultura organizacional fundamentada en la motivación, aprendizaje y crecimiento continuo para que esta se prolongue en el tiempo y no sea por un periodo corto sino que se mantenga en el tiempo.

³ Radu Cristian POPESCU*, Gheorghe OBACIU, maintenance strategies used in industrial plants, University of Brasov, Romania

Una estrategia de mantenimiento generalmente se caracteriza por tener un conjunto de tareas a una determinada frecuencia, designada a un grupo específico de personas, donde normalmente son definidas mediante el fabricante, manuales o en su defecto por los mismos técnicos, siendo estas generales y estándar para todos los equipos, sin tener en cuenta algunas variables como: el medio de operación del equipo, los parámetros de funcionamiento, el ambiente en el que se encuentra, la criticidad dentro del sistema, el tiempo de servicio y horas de funcionamiento de los equipos y como consecuencia a esto se tienen sobre costos en el mantenimiento por una inadecuada planeación en recursos y en tareas de mantenimiento, ya que estas no abarcan todos los modos de falla posible y en algunos casos son repetitivas, obteniendo altos costos en correctivos, un stock de repuestos erróneo, aun deficiencias en los diseños, sobretiempos en la reparación, logística y ejecución de actividades y sobretodo afecta la disponibilidad y confiabilidad del equipo, teniendo pérdidas de producción, lo cual es el CORE del negocio.

Por tal motivo la gestión del mantenimiento debe estar en continua evolución y cambio, ya que debe acondicionarse a lo que está pasando en su entorno, satisfaciendo las necesidades y resolviendo de una manera efectiva las problemáticas que se pueden llegar a presentar, teniendo una visión más global y gerencial del negocio, esto quiere decir que debe tener unos resultados operacionales y financieros deseados, como lo menciona Luis Amendola en su artículo *Balanced Scorecard en la Gestión de Mantenimiento*⁴, donde dice que “lleva a la constante búsqueda y aplicación de nuevas y más eficientes técnicas y practicas gerenciales de planificación y medición del desempeño del negocio”. De tal manera que mantenimiento ya no solo se preocupara por la disponibilidad y confiabilidad de los equipos sino también por cumplir una estrategia gerencial que tenga una relación financiera y beneficie a la empresa, incorporando nuevas técnicas, tecnologías y rediseños de los sistemas, siendo innovadores y teniendo

⁴ Amendola Luis, *Balanced Scorecard en la Gestión del Mantenimiento*, 2012.

en cuenta la mejora continua en el proceso, alineándose con la visión estratégica de la empresa, enfocando el mantenimiento desde el punto de vista de indicadores técnicos-económicos del mantenimiento, tales como²:

Costos

- Costes de Mantenimiento por Unidad de Producción
- Costes de Mantenimiento por Hora Hombre
- Relación de Costes Mantenimiento Vs Producción.
- Índice Costes de Mantenimiento Preventivo
- Índice Costes de Mantenimiento Correctivo

Efectividad

- Tiempo Promedio para Fallar (TPPF)
- Tiempo Promedio para Reparar (TPPR)
- Disponibilidad (D)
- Mantenimiento preventivo
- Confiabilidad (C)
- Planificación
- Gestión de stock
- Gestión de compras

Las diferentes metodologías de mantenimiento, llevan a la pregunta cuál es la mejor para la industria oil & gas? teniendo en cuenta que esta industria más que muchas otras, deben cumplir rigurosamente con una serie de procedimientos, normas y leyes, en el ámbito ambiental, social, legal, ingeniería y por supuesto en el tratamiento y manejo de la producción, para llegar a altos estándares calidad, siendo competitivos en el mercado, pero esto se logra en alineación con una adecuada estrategia de mantenimiento que cumpla con estos requerimientos. Para lo cual se

debe considerar que sea una metodología efectiva y práctica, que asegure que existe valor agregado y sea costo efectivo para la organización, de tal manera optimizar el plan de mantenimiento (PMO) de forma estratégica puede generar un balance adecuado de costos, una maximización de la disponibilidad, confiabilidad y un incremento en la integridad y seguridad de los procesos,

Con base al artículo Análisis del Mantenimiento del Futuro, de Steve Turne⁵, argumenta que el enfoque en la productividad humana es un ingrediente esencial en la implementación de un programa de análisis de mantenimiento con éxito. Con esto en mente, es imperativo que el tiempo de análisis no se desperdicie en actividades de bajo valor añadido, tales como el análisis de los modos de fallo que no dan lugar a ningún tipo de mantenimiento.

La metodología de mantenimiento PMO se basa en la optimización de tareas existentes que estén duplicadas y que no generen ningún valor para los equipos, de esta manera definir los recursos humanos y materiales óptimos y la frecuencia correcta de intervención, detallando una política de mantenimiento idónea para los equipos críticos de la organización a un menor costo y que contribuya al aumento de utilidades de la organización. Para lograr los objetivos es indispensable contar con la ayuda de todas las áreas e igualmente contar con la motivación del personal por parte de la dirección para crear en el trabajador un sentido de pertenencia, de compromiso y de creatividad para mejorar su trabajo y optimizar costos de producción.

⁵ TURNER, Steve. Análisis Mantenimiento de futuro PMOptimisation PMO2000. Australia, Northwestern University - Kellogg School of Management Universidad Chapman

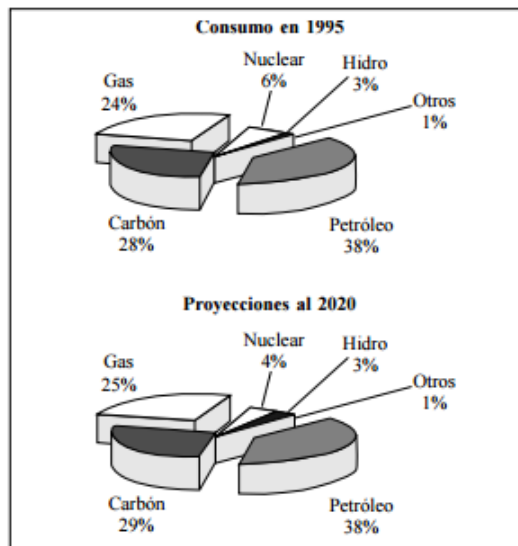
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. MARCO CONTEXTUAL

1.1.1 Reseña Histórica de Producción de Gas en Latinoamérica.

La producción de gas es una de las principales fuentes de energía que dispone el hombre, y que en los últimos años ha venido creciendo, estando por encima de carbón y del petróleo (ver Figura 1). Según el artículo La Industria del Gas Natural y su Regulación en América Latina, escrito por Humberto Campodónico⁶, el gas puede mantenerse por muchos más años, por el número de reservas que tiene, además el transporte es menos costoso y sobre todo permite mayor conservación del medio ambiente por que emite menos dióxido de carbono que el petróleo.

Figura 1. Consumo de Energía en 1995 y proyecciones al 2020

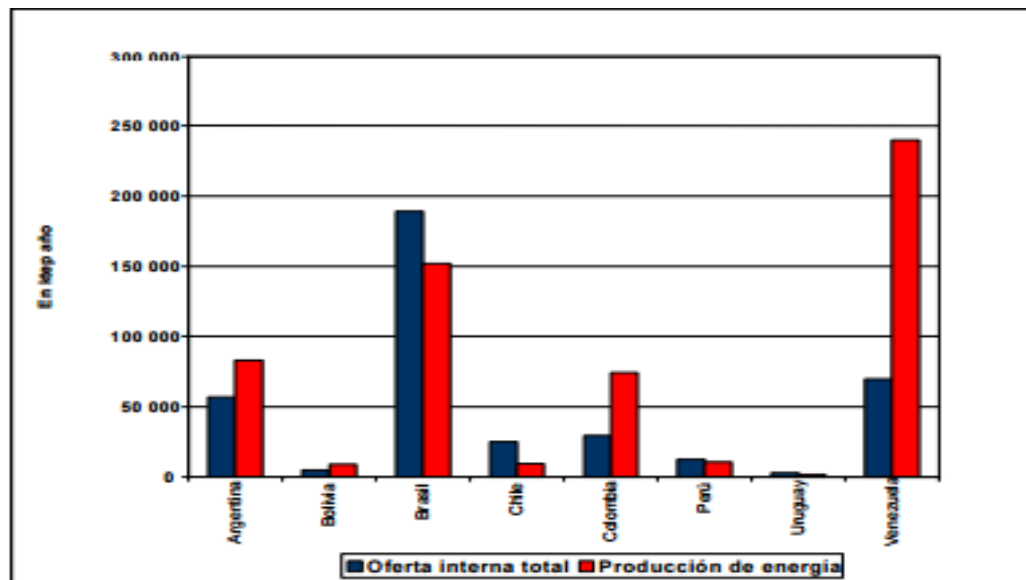


Fuente: OCDE, Organismo Internacional de Energía (1995).

⁶ Campodónico Humberto, La industria del gas natural y su regulación en América Latina, Revista de la CEPAL 68, Lima.

En América Latina la demanda de gas ha aumentado en cantidades significativas con referencia a Europa, que la ubican como la región de mayor tasa de crecimiento en los últimos años, con un 10,9% en el corredor de la nueva centuria y que le permiten contribuir con un 19,7% de los recursos mundiales, pese al bajo porcentaje de aumento entre 2011- 2012 que sumó tan solo 0,9%. Se destacan Brasil y Venezuela cuyos incrementos corresponden a 5,1% y 11,9% respectivamente durante 2012, ver figura 2, de acuerdo a la revista *Negocios & Petróleo*⁷. Principalmente la demanda final del consumo de gas se está dando especialmente para generación de energía eléctrica, en segundo lugar para consumo de yacimientos y en tercer lugar para centrales eléctricas

Figura 2. Oferta Energética Total y Oferta de Gas en el Mercado Interno



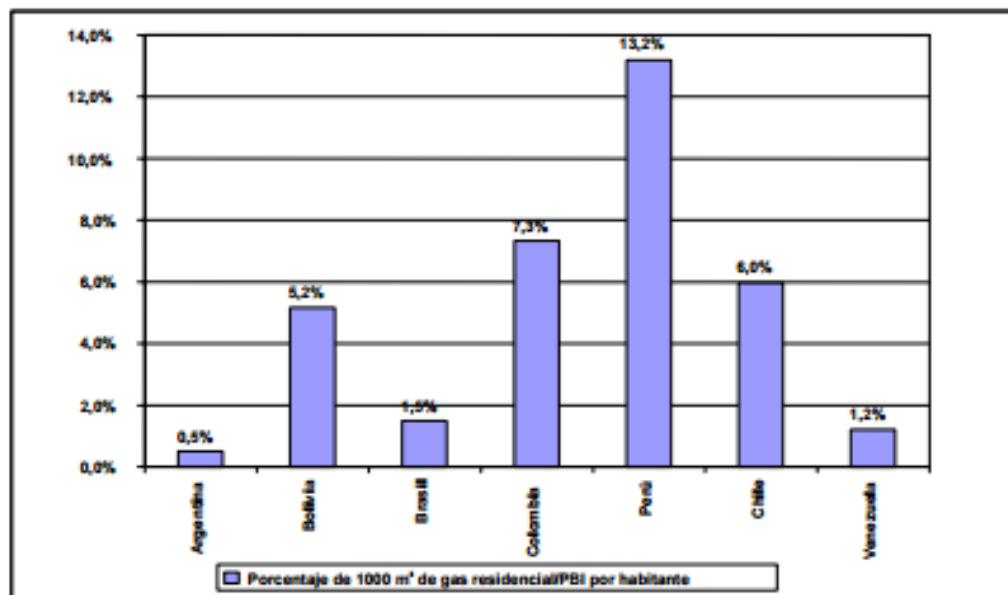
Fuente: SIEE, versión 2002, banco mundial WDI.

Los países latinoamericanos que hacen parte de la producción de gas son: Brasil, Argentina, Bolivia, México, Perú, Ecuador y Colombia. Según el artículo de

⁷ Revista *Negocios&Petroleo*, Proyección de reservas petroleras y de gas en América Latina, del onshore al offshore, 2015

Humberto Campodónico⁴, en Perú particularmente se destaca por su rápido crecimiento a partir de 1990, donde las reservas de gas natural de Perú ascienden a 201 000 MMm³ y les corresponde el quinto lugar en América Latina. La mayor parte de las reservas son las de Camisea, en el Cuzco, lo cual permitirá el crecimiento del país en mercados energéticos. Como se muestra en la figura a continuación el precio del gas más alto es en Perú.

Figura 3. Comparación de los Precios del Gas Natural



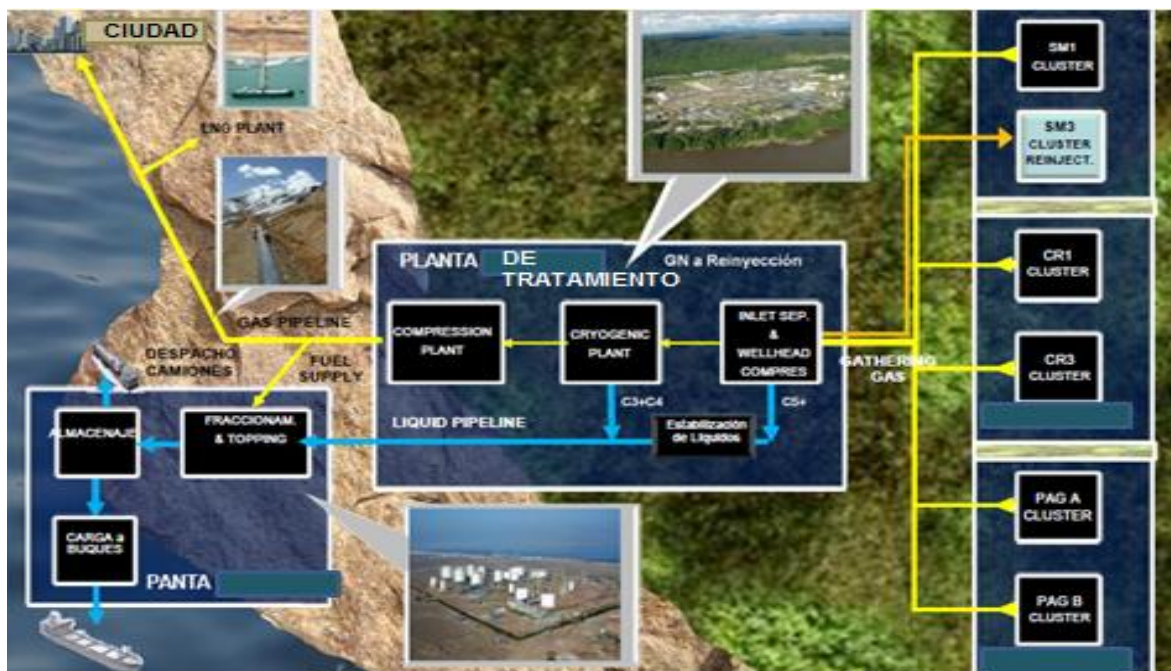
Fuente: SIEE, versión 2002, banco mundial WDI.

1.1.2 Ubicación Geográfica

A continuación se representan cada uno los puntos geográficos donde se encuentra la producción de gas, en cada país de América Latina con su porcentaje de producción.

encarga de controlar el flujo de acuerdo a la demanda. Posteriormente el gas dirige hacia el Medidor Multifásico de Flujo instalado en cada yacimiento de gas y de ahí es distribuido a la planta de tratamiento de gas que permite separar Una Mezcla de Hidrocarburos de Yacimientos, en: Gas Natural (que se dirige a la ciudad y a la planta de fraccionamiento) e Hidrocarburos Líquidos (a la Planta de tratamiento 2); Con la Ayuda de Servicios Auxiliares y controlando fugas de líquidos; donde entra en el proceso de separación de GLP (Gas Licuado de Petróleo) y C5+ (gasolina natural), continuando con la compresión del mismo, una parte del gas es transportada por tubería hacia la planta de GNL y hacia la ciudad para su venta, la otra parte entra a la segunda planta a la etapa de fraccionamiento del GNL (Gas Natural Líquido) y el GLP/C5+, para pasar enseguida a almacenamiento, donde un porcentaje es despachado en camiones y otro en buques para su venta, tanto nacional como internacional. Por último el gas seco es nuevamente inyectado a los pozos. Ver figura 5.

Figura 5. Diagrama de Bloques del Proceso de tratamiento y Distribución de Gas.



Fuente: Petroguía 2015: Hidrocarburos en América Latina

1.1.3.1 Acondicionamiento Primario del Gas.⁸

Es el primer Proceso que se realiza en la planta de Gas, en el cual se reciben los hidrocarburos provenientes de las locaciones productoras para acondicionarlos. Este es separado en gas saturado (que pasa a deshidratación con glicol) y líquido (que pasa a la fase de Estabilización de Condensado a través de los Filtros de Arena). El gas saturado es separado adicionalmente en gas y líquido en el Scrubber, pasando después por un Filtro Separador para remover partículas. El líquido pasa a la fase de Estabilización de Condensado. El líquido que puede ser arrastrado por el gas, es absorbido en la contactora de glicol (medio absorbente), atrapándose cualquier glicol y niebla en el Filtro Coalescente.

El glicol rico es enviado a la regeneración de glicol, mientras que el gas pasa a la fase de deshidratación. En la sub-fase de Regeneración de Glicol se remueve el agua del glicol rico, quedando así el glicol regenerado para ser usado de nuevo. Específicamente, en la regeneración de glicol ocurre lo siguiente: el glicol rico es precalentado en el condensador de reflujo de la Torre de Regeneración; este glicol rico pasa al Tanque de Flash para eliminar cualquier hidrocarburo; el glicol rico pasa por una serie de Filtros para eliminar sólidos; el glicol es procesado en la Torre de Regeneración CBA-3240 con su Rehervidor, con el propósito de eliminación adicional de agua; el glicol ya regenerado es enfriado y bombeado a la Contactora CAF-3800; los vapores de la cabeza de la Torre de Regeneración son enfriados y pasan a un Desgasolinizador a través del Separador de Glicol; el glicol de reposición es almacenado en el Tanque MBJ-6770 y bombeado a los trenes criogénicos.

⁸ *Resumen del Proceso Planta, DOC-PERMAL-0001P, Planta de Gas PSE, Septiembre 2014*

1.1.3.2 Deshidratación.

El vapor de agua en el gas es retenido en los tamices moleculares de las Torres de Deshidratación, y removido durante el ciclo de regeneración. Cada 12 horas un deshidratador es cambiado a regeneración, usando gas de la fase de Separación Criogénica. El gas seco de las torres es filtrado para eliminar cualquier partícula de polvo y pasa a la próxima fase de Separación Criogénica. El gas de las torres durante regeneración pasa por un Aeroenfirador y después por el Scrubber VBD3810 donde el agua condensada por enfriamiento es removida. El gas sigue a través del compresor y regresa a la fase de Acondicionamiento Primario (CAF-3800) para completar la deshidratación⁶.

1.1.3.3 Separación Criogénica.

Proceso en el cual se recupera los hidrocarburos más pesados C3+ de la corriente de gas seco proveniente del proceso de deshidratación, a través de sus tres subprocesos, el proceso de Separación Criogénica⁶:

- 1.** Intercambio de Calor y Separación a través de los intercambiadores EZZ 4100, 4120, 4110, 4115 (Intercambio) y el Separador Frio VBA4130 (Separación).
- 2.** Turboexpansión, donde el gas pre-enfriado es sometido a una Expansión en KAE410 causando un gran enfriamiento (efecto Joule Thompson) y separación gas-líquido. En esta etapa a su vez se comprime gas residual (uno de los productos principales) en el Compresor Booster KAE4150 aprovechando la energía liberada durante la expansión.
- 3.** Recuperación de Líquidos donde se fracciona la corriente bifásica (gas frío e hidrocarburos) proveniente de la expansión.

1.1.3.4 Regulación & Medición de Gas de Ventas.

Esta fase tiene dos funciones principales⁶:

1. Regular la presión del gas de venta para una medición efectiva (a través del Cuadro de Regulación).
2. Medir con precisión el gas entregado al gasoducto, a través de Medidores Ultrasónicos. En caso de paro de planta, el gas puede ser derivado como gas combustible.

1.1.3.5 Almacenamiento & Bombeo de Hidrocarburos Líquidos.

Esta fase como su nombre indica almacena (10 Tanques de LPG) y bombea (Bombas Booster) a la estación de bombeo (operada por terceros) los hidrocarburos líquidos que son enviados a la planta de tratamiento 2.

Los hidrocarburos provienen de las fases de Separación Criogénica y de estabilización de condensado. Esta fase permite también la segregación de producto fuera de especificaciones. En condiciones normales no se mantiene stock en los tanques, los cuales son usados principalmente como suministro a las bombas booster⁶.

1.1.3.6 Estabilización de Condensado.

Esta fase procesa condensado del slug cácher en tres etapas⁶:

1. Una etapa de Separación por evaporación y diferencia de densidad la cual separa hidrocarburos líquidos, agua y gas usando los separadores VBD2100 (trifásico) y VBF2120 (flash).

2. Una etapa de estabilización (por fraccionamiento) de hidrocarburo líquido, la cual produce el condensado estabilizado, usando la Torre Estabilizadora CAY220.

3. Una etapa de Compresión de Reciclo (compresores KAE 2330/40/50), retornando el gas comprimido a la fase de Separación Criogénica. El condensado estabilizado, como producto terminado, pasa a la fase de Almacenamiento & Bombeo de Hidrocarburos Líquidos.

1.1.3.7 Compresión de Gas Residual.

Es un proceso que se encarga de la compresión del gas residual de Separación Criogénica es Comprimido en un compresor de 3 etapas. Hay 2 trenes idénticos de compresión. La energía del tren es suministrada por una turbina de gas. Antes de ingresar a cada etapa, el gas es "depurado" por un scrubber de succión. A la salida de cada etapa el gas comprimido es enfriado por aeroenfriadores. De la segunda etapa de compresión sale el gas de venta. De la tercera etapa de compresión sale el gas de re-inyección⁶.

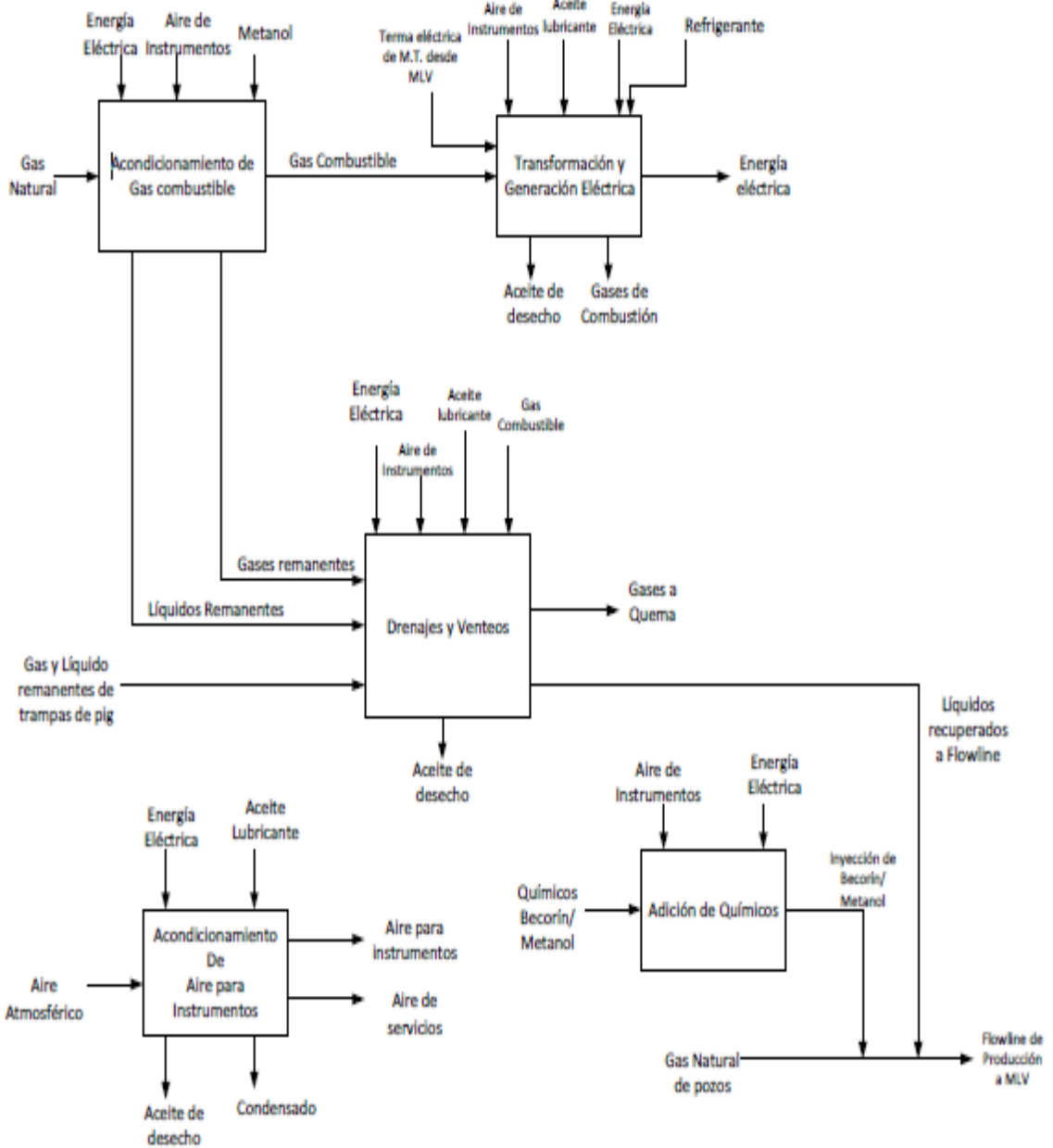
1.2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LA LOCACIÓN DE GAS C3

La locación de Gas está conformado por sub- sistemas que suministra servicios auxiliares a la locación de C3, para su operación, la cual opera utilizando energía eléctrica, aire para instrumentos, gas combustible e Inhibidor de corrosión.

Este proceso de Servicios Auxiliares en la locación de C3 es para su normal operación, donde: (Ver figura 6)

- 1.** El gas combustible es importante para el gas piloto del Flare, para mantener una presión positiva en el colector de venteo y para la generación eléctrica auxiliar.
- 2.** El aire de instrumentos es importante porque habilita los sistemas neumáticos de la locación.
- 3.** El inhibidor de corrosión (Becorín), es importante porque crea una película al interior del ducto para evitar la corrosión interna de esta; el metanol evita la formación de hidratos.
- 4.** El sistema de drenajes y venteos nos permite derivar los gases a quema para proteger el sistema y poder recuperar los líquidos del gas natural.

Figura 6. Diagrama Funcional de Bloques (Sub-Sistemas).



Fuente: Sistema de Producción en C3, DOC-PERMAL-0009C, Planta de Gas PSE, pg38, Septiembre 2014

1.2.1 Sub- Sistema para Acondicionamiento de Gas Combustible⁹

⁹ Sistema de Producción en C3, DOC-PERMAL-0009C, Planta de Gas PSE, Septiembre 2014

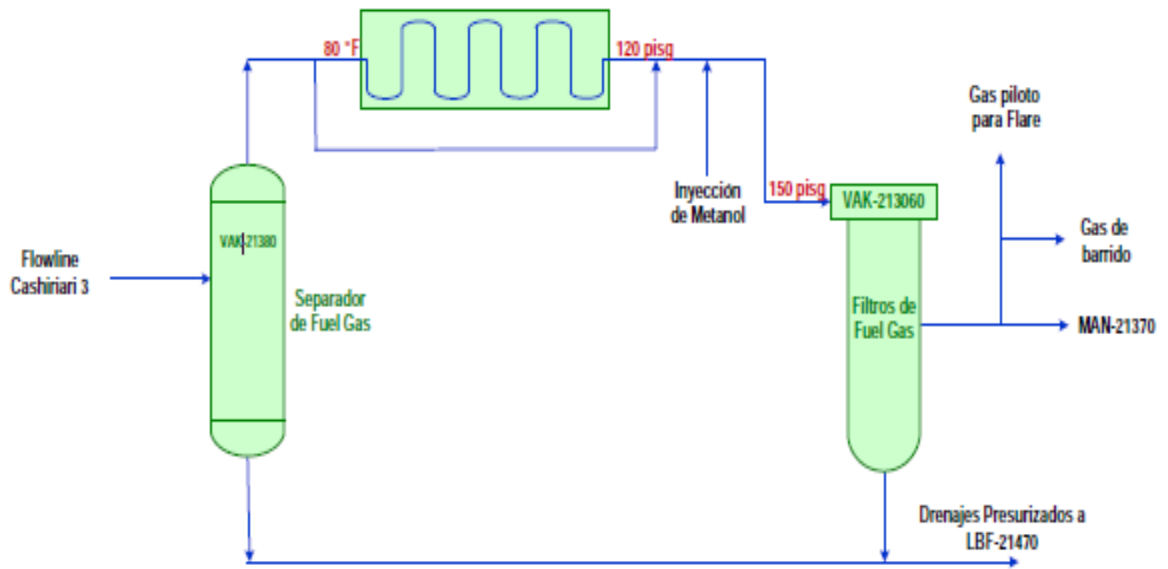
El gas húmedo a tratar se toma de la línea de producción del yacimiento de gas, que recibe como nombre C3. Se reduce la presión del gas desde 1750 PSIG a 1200 PSIG y se realiza una separación de líquidos en el separador VAK-21380 que posee un deflector y un desnebulizador. Los líquidos separados se envían al acumulador LBF-21470 (KOD). Antes de reducir nuevamente la presión, el gas proveniente del VAK-21380 eleva su temperatura en el calentador eléctrico H-21300 para evitar la formación de hidratos. Si se debe realizar el mantenimiento del calentador se inyecta metanol para el mismo propósito. Se reduce la presión del gas caliente a 600 PSIG, luego a 150 PSIG ingresando con esa presión al Filtro VAK-21360.

El VAK-21360 tiene dos compartimientos. El superior contiene un elemento filtrante y el inferior un desnebulizador. Los líquidos separados en ambos compartimientos se envían al acumulador LBF-21470 (KOD). Ver Figura 7.

El gas tratado que sale del Filtro VAK-21360 a 150 PSIG se distribuye a los distintos usos:

1. Gas combustible regulado a 30 PSIG para el Generador eléctrico a gas MAN-21370.
2. Gas piloto con su propia regulación para la antorcha LZZ-21490.
3. Gas de barrido regulado a 8 PSIG para mantener una presión positiva en los colectores del sistema de antorcha.

Figura 7. Diagrama de Flujo de Acondicionamiento de Gas Combustible



Fuente: Sistema de Producción en C3, DOC-PERMAL-0009C, Planta de Gas PSE, Septiembre 2014

1.2.2 Sub- Sistema de Generación Eléctrica de Emergencia

La energía eléctrica principal se obtiene mediante la conducción eléctrica de un cable tripolar de 33 KV, este va enterrado paralelo al ducto desde la planta de gas principal a la celda de llegada de 33KV en C3, donde se encuentra un interruptor de 33KV, que al ser cerrado lleva los 33KV a un transformador de 33KV a 4.16KV, con este voltaje a la salida del transformador, llega al SWG dentro del MCC, cuando es cerrado el SWG, alimenta a un segundo transformador que reduce el voltaje de 4.16Kv a 480V. Los 480V se conectan a la entrada del interruptor principal el cual conecta a la barra principal de alimentación de los equipos y servicios. Dentro del MCC, existe un tercer transformador que reduce el voltaje a 380V y 220V, para la iluminación, tomacorrientes, aire acondicionado y algunos otros equipos que trabajan con este voltaje.

Cuando el abastecimiento de energía principal se ve interrumpido por corte desde la planta de gas principal o problemas en la llegada, se cuenta con un suministro

auxiliar generado desde la misma locación. El gas acondicionado a 45 PSIG en el sub-sistema de acondicionamiento de gas combustible será utilizado como energía calorífica, previa mezcla y combustión con aire, y se transformará en energía mecánica, la cual a través del Motogenerador MAN-21370 se convertirá en energía eléctrica. La salida a 480 V del generador de emergencia y la salida de 480 V del transformador se conectan con el Tablero de Transferencia Automática y la salida de este alimentará las barras en el MCC (cuarto de control de motores)

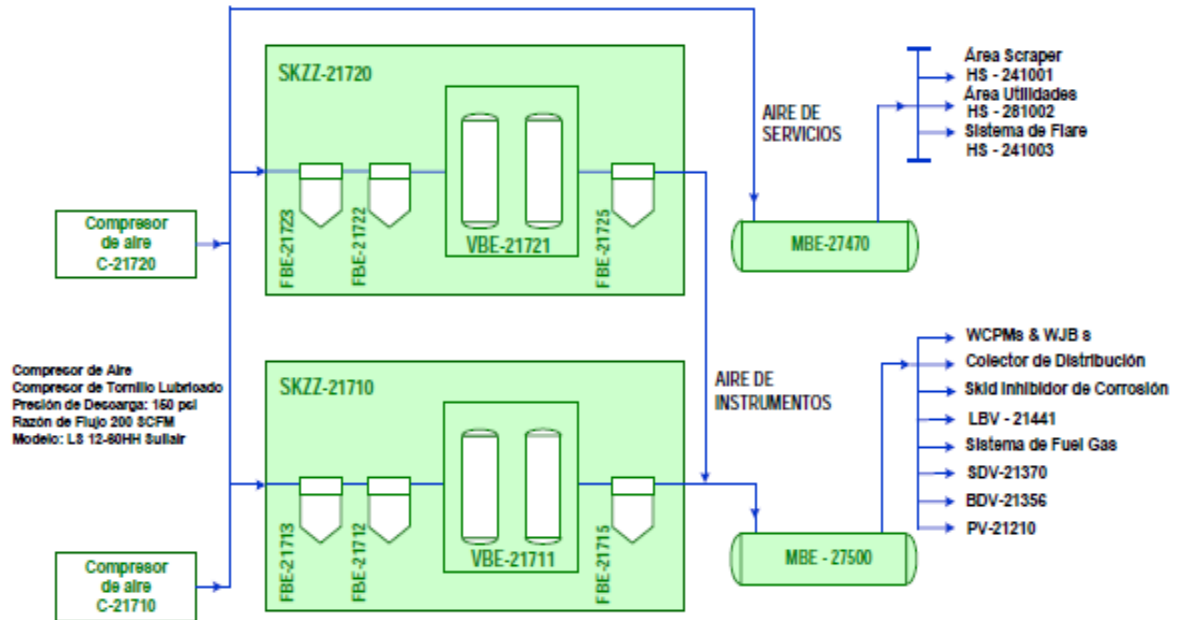
1.2.3 Sub- Sistema de Generación de Aire de Instrumentos y Servicios

En este subproceso se toma aire atmosférico y se pasa por el skid de compresión SKZZ-21710A / SKZZ-21720A (uno en operación y el otro en reserva), internamente se cuenta con dispositivos para el acondicionamiento del aire y los compresores tipo Tornillo lubricados C-21710/21720, los cuales cuentan con enfriadores y filtros de aceite y condensado. El aire es comprimido hasta 150 PSIG a un flujo de 188 SCFM. A partir de aquí se divide en dos líneas: una al skid de secado de aire SKZZ-21710/21720 y otra al acumulador de aire de servicio MBE-27470.

El aire destinado a instrumentación pasa a los skids de secado de aire SKZZ-21710/21720 (uno en operación y otro en reserva), los cuales cuentan con pre filtros de partículas y coalescente capaces de retener partículas hasta 0.01 micrones, el líquido acumulado es enviado a los drenajes no presurizados, seguidamente el aire pasa a las torres de secado VBE-21711/21721 funcionando alternadamente deshidratando y regenerando, aquí el aire es secado por adsorción, luego pasa a un filtro para capturar alguna partícula del lecho de las torres de secado que pudo haber pasado. Posteriormente el aire seco es acumulado en MBE-27500 y distribuidos a los diferentes puntos de consumo, como se muestra en la figura 8. El aire debe ser comprimido a 150 PSIG y aun flujo de 188 SCFM.

Figura 8. Diagrama de Flujo de Generación de Aire de Instrumentos y Servicios.

Unidad de secado de aire Venteo Unidad



Fuente: Sistema de Producción en C3, DOC-PERMAL-0009C, Planta de Gas PSE, Septiembre 2014

1.2.4 Sub- Sistema de Generación de Drenajes y Venteos

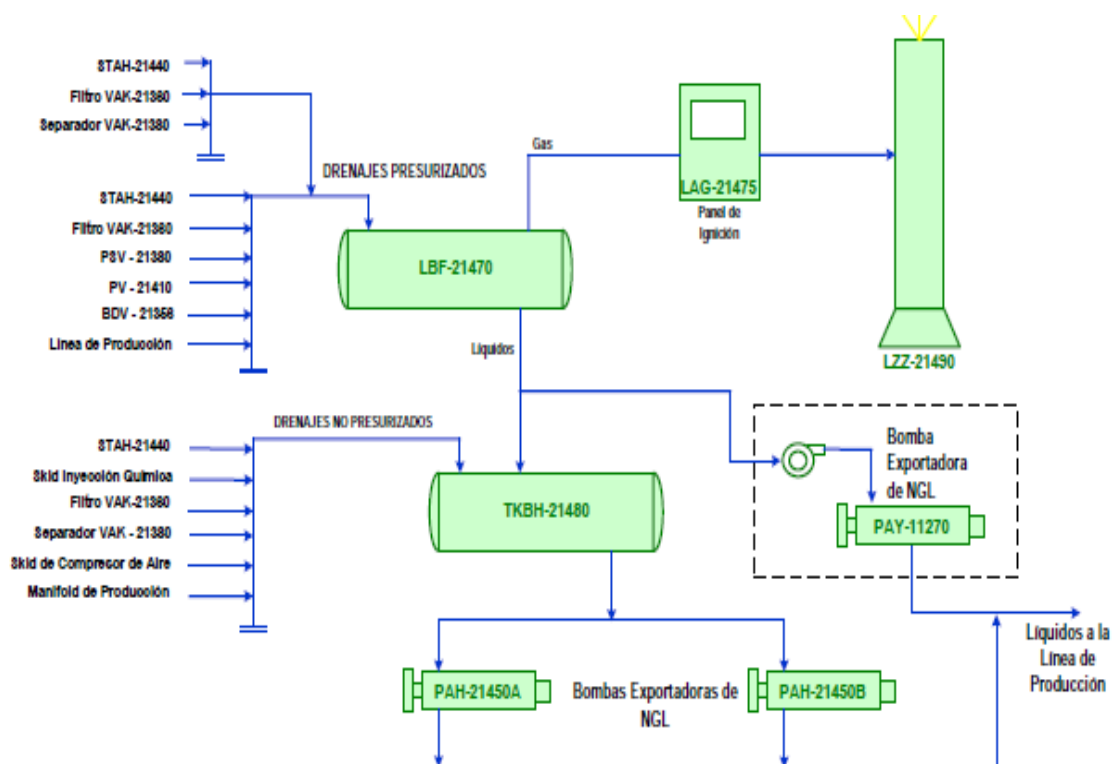
Los drenajes y los venteos provenientes de: Lanzadora de Pig STAH-21440, Separador de Líquidos VAK-21380, Filtro VAK-21360, Válvula BDV-21356, Válvula PSV-21380, Válvula PV-21410 y la Línea de Producción, se colectan y se dirigen al Acumulador LBF-21470. En operación normal los líquidos de este se dirigen hacia el acumulador no presurizado TKBH-21480.

El Gas separado en el acumulador LBF-21470 se dirige hacia la antorcha LZZ-21490 para ser quemado. El sistema de antorcha elevada LZZ-21490 tiene un Panel de control de Ignición LAG-21475. La antorcha tiene una línea de gas combustible a 15 PSIG para los dos pilotos del flare.

El sistema de drenajes no presurizados tiene como entradas los drenajes provenientes de: la lanzadora de Pig STAH-21440, Filtro VAK-21360, Separador

VAK-21380, Skid de inyección de químicos, Skid de compresión y secado de aire y el Manifold de Producción, los cuales se colectan en el acumulador TKBH-21480, los posibles gases disueltos se ventean a la atmósfera a través de un arrestallama y los líquidos se inyectan en el Flowline de producción mediante las bombas eléctricas (tipo pistón) PAH-21450 A/B (una en operación y otra en reserva), como se observa en la figura 9.

Figura 9. Diagrama de Flujo de Drenajes y Venteos



Fuente: Sistema de Producción en C3, DOC-PERMA-0009C, Planta de Gas PSE, Septiembre 2014

1.2.5 Sub- Sistema de Generación de Inyección de Químicos

El inhibidor de corrosión (Becorin) se inyecta en cada Árbol, en un punto aguas abajo de las válvulas SSV (Wing Valve) y aguas arriba de las válvulas XCV (Choke) para prevenir la corrosión interna de las tuberías, también se inyecta Metanol para

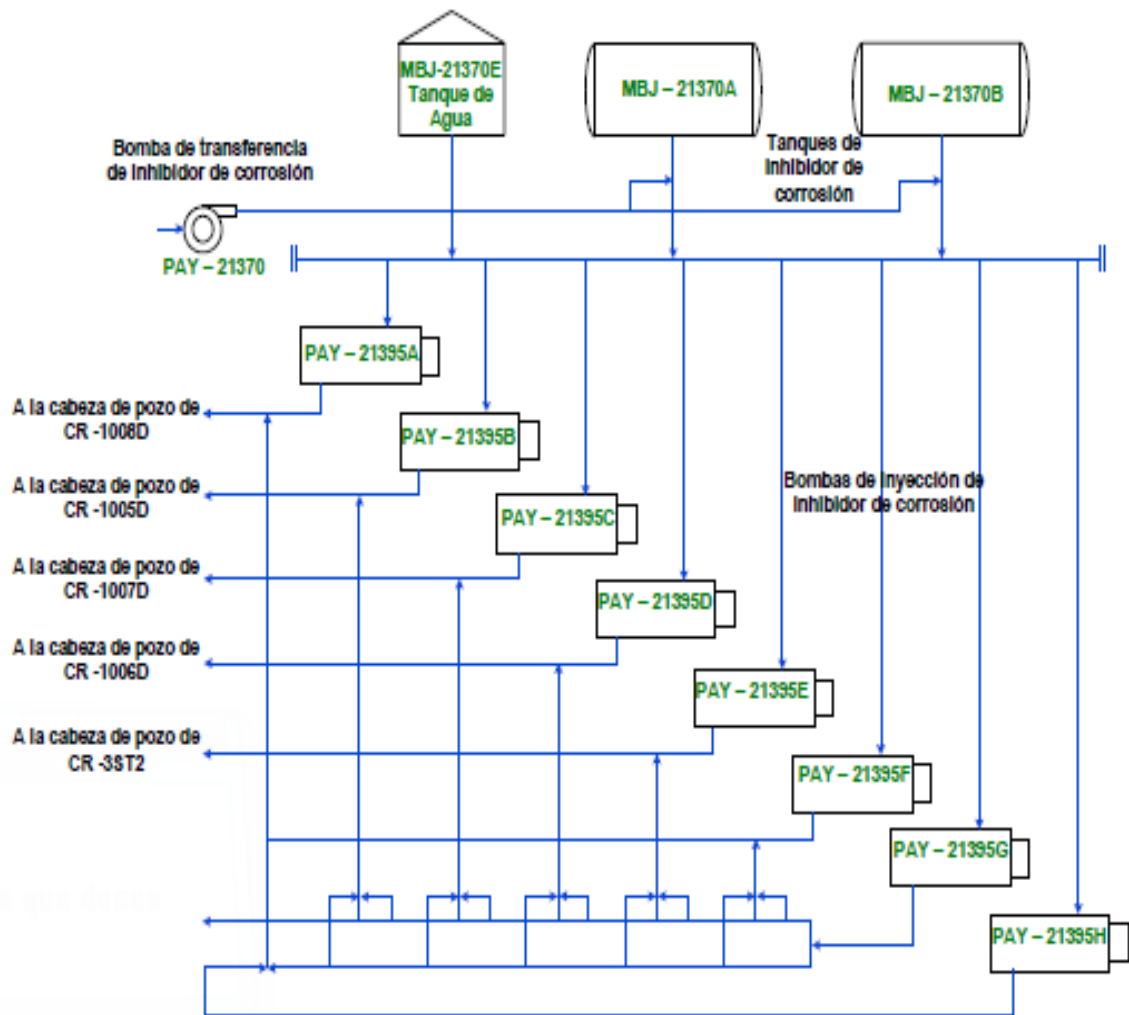
evitar la formación de hidratos, por medio de 8 bombas de inyección de químico, como se muestra en figura 10. El metanol será utilizado durante el testeo de pozo o durante el mantenimiento del calentador de Fuel Gas H-21300. Posee una bomba de desplazamiento positivo eléctrica PAY-11180A (capacidad = 91 GPH) compartida con las locaciones C1 y P(A y B), y un tanque de almacenamiento de metanol MBJ-21380.

Durante el testeo de pozo, el metanol se inyecta en el Árbol en los mismos puntos que el inhibidor de corrosión: aguas abajo de las válvulas SSV y aguas arriba de las válvulas choke, utilizando los mismos tubings.

Durante el mantenimiento del calentador H-21300 el metanol se inyecta en un punto aguas abajo del calentador y aguas arriba del segundo cuadro de regulación de 600 PSIG.

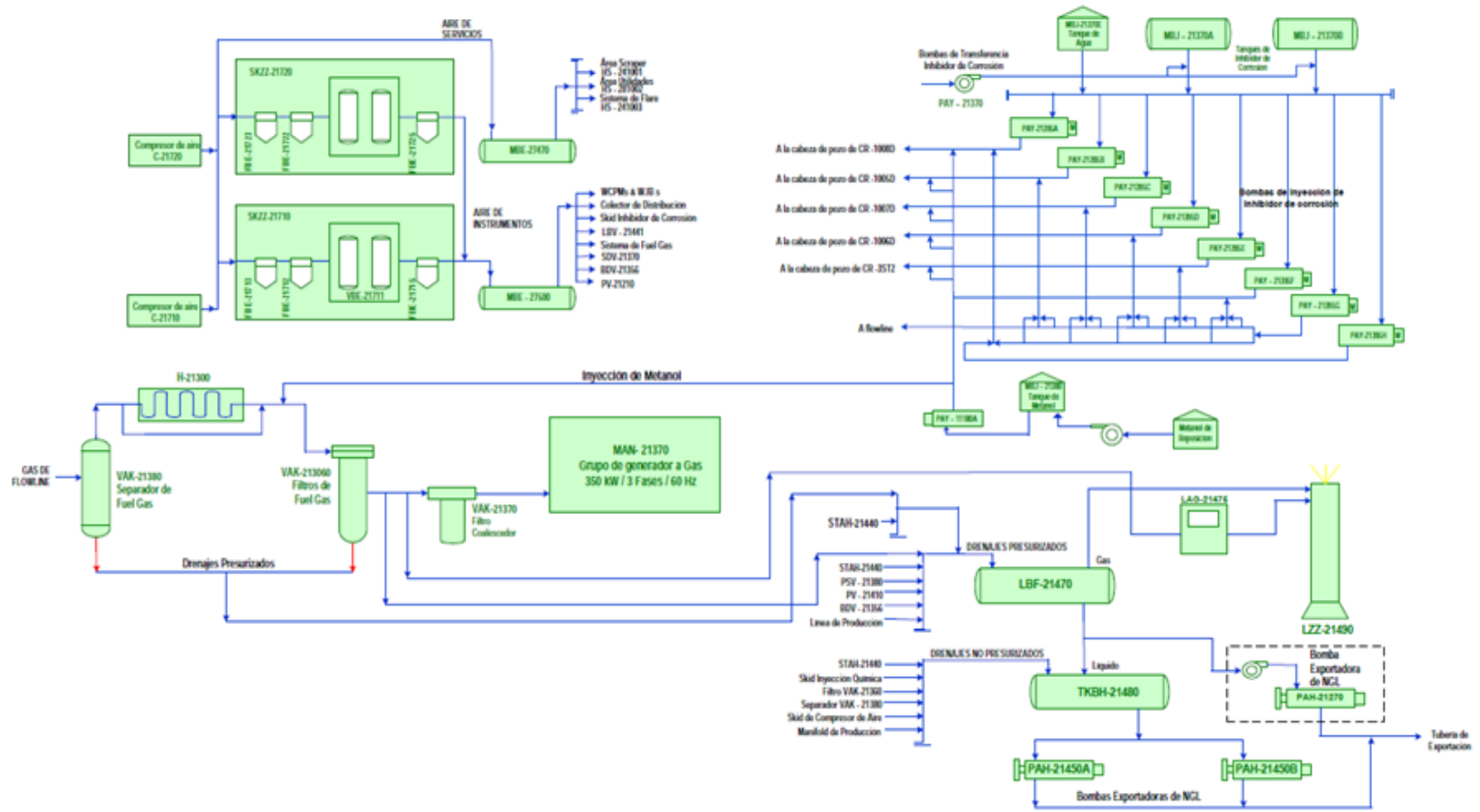
Se cuenta con bombas de Transferencia PAY-21370/11180B, para Becorín y Metanol respectivamente, las cuales se ponen en funcionamiento para recargar los tanques de químicos.

Figura 10. Diagrama de Flujo de Inyección de Químicos



Fuente: Sistema de Producción en C3, DOC-PERMAI-0009C, Planta de Gas PSE, Septiembre 2014

Figura 11. Diagrama integrado de Flujo



Fuente: Sistema de Producción en C3, DOC-PERMAI-0009C, Planta de Gas PSE, Septiembre 2014

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La locación productora de gas tiene actualmente 10 años de operación y su estrategia de mantenimiento está basada en las recomendaciones y manuales de los fabricantes de cada uno de los equipos, siendo esta estrategia antigua y poco efectiva por las recurrentes fallas que se presentan en sus equipos principales.

Este bloque gasífero está ubicado en la selva y como medida de cuidado ambiental sus operaciones son desarrolladas mediante los requerimientos Offshore, por esto los desplazamientos a la locación que se encuentra a 5 kilómetros de la planta principal de producción de gas se desarrollan en helicóptero (5.000 USD por vuelo), siendo un gasto logístico de gran impacto para los costos de mantenimiento.

Adicional a lo anteriormente planteado la locación es la primera de mayor relevancia en producción con un promedio de: 340 MMSCF (Gas Húmedo), por lo que si esta llega a salir de operación se tendría un impacto grande en la producción total del bloque.

Para minimizar el riesgo de pérdidas de producción, ajustar los costos de mantenimiento y minimizar la tasa de fallas, es indispensable realizar un proceso de optimización de la actual estrategia de mantenimiento, la cual se tomó como referencia el historial de falla de los equipos, para garantizar altos niveles de disponibilidad, confiabilidad y costos equilibrados de mantenimiento.

Para asegurar que los impactos económicos y en la operación sean los menores, se decide realizar el proceso de optimización de mantenimiento en los sistemas principales de la locación: generación, aire industrial, bombas de exportación e inyección de químico.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GENERALES:

Realizar un proceso de optimización de la estrategia actual de mantenimiento a los equipos principales de una locación de producción de gas, aplicando la metodología de PMO, que ayude a incrementar la disponibilidad de los equipos, con un nivel de riesgos y costos controlados.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Calcular y analizar los costos y las horas hombre invertidas en la estrategia de mantenimiento actual para la locación de producción de gas.
- Identificar los modos de falla que se han presentado históricamente en la locación, para los equipos principales, para así establecer la frecuencia de ocurrencia de las fallas.
- Determinar las tareas y las frecuencias adecuadas que eliminen o mitiguen los modos de falla que se han presentado en la locación.
- Vincular los repuestos necesarios en los planes de mantenimiento preventivo.
- Establecer los tiempos de ejecución efectivos y mano de obra necesaria para cada plan de mantenimiento.

4. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

La locación de gas, en promedio produce 340 MMSCF, siendo el 25% del total de producción del bloque gasífero, lo que hace que su funcionamiento sea de gran relevancia para alcanzar las metas diarias de producción. Por eso se evaluó que oportunidades de mejora se podrían tener para que la operación y el mantenimiento de esta la locación fuesen los más eficaces.

Realizando un análisis de la información almacenada en el SAP-PM, en los dos últimos años se han invertido \$7.895.804,40 USD en actividades correctivas y \$5.082.838,20 USD en actividades preventivas (Costos totales que incluyen mano de obra, repuestos, servicios y logística). Estos valores nos ayudan a identificar que se tiene mayores costos por intervenciones correctivas que las preventivas y que la estrategia actual no es la más apropiada para la importancia operativa de la locación.

Tomando como referencia lo anterior y los históricos de falla de los equipos, se decidió implementar un programa de optimización del mantenimiento para los equipos principales de la locación de gas, bajo una metodología basada en confiabilidad donde queden establecidas las actividades de mantenimiento que generan valor (Eliminen los modos de falla), lo cual dé como resultado un balance entre el riesgo, los costos y la disponibilidad operativa de la locación.

A través de este proceso de optimización se espera:

- Preservar la función de los activos dentro de cada proceso, basados en la confiabilidad y los riesgos asociados a la operación.
- Definir las actividades basadas en condición e intrusivas para las diferentes especialidades y para cada activo ajustadas a una frecuencia de acuerdo a la capacidad instalada en la locación.

- Definir los recursos necesarios relacionados con el talento humano y materiales para la ejecución de las tareas producto del análisis.
- Maximización de la disponibilidad de los activos del alcance, reduciendo los tiempos de paradas con el fin de incrementar la capacidad operativa.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 YACIMIENTO DE GAS¹⁰

Yacimientos de Gas son aquellos en los cuales la mezcla de hidrocarburos se encuentra inicialmente en fase gaseosa en el subsuelo. Se clasifican en yacimientos de: Gas seco, gas húmedo, Gas condensado.

5.1.1 Tipo de Gas Húmedo.

En estos yacimientos de hidrocarburos están en estado gaseoso, por características específicas de presión, temperatura y composición. El gas está mezclado con otros hidrocarburos líquidos; se dice que se halla en estado saturado.

Este tipo de gas recibe el nombre de gas húmedo durante la producción del yacimiento, la presión disminuye y permite que el gas se condense en petróleo líquido, el cual al unirse en forma de película a las paredes de los poros queda atrapado y no puede ser extraído. Esto puede evitarse inyectando gas a fin de mantener la presión en el yacimiento.

Su temperatura inicial excede la temperatura cricondentérmica y están constituidos por hidrocarburos livianos a intermedios, además están constituidos por hidrocarburos que no condensan a condiciones de yacimiento pero si a condiciones de separador.

5.1.2 Tipo de Gas Seco.

¹⁰ <https://es.scribd.com/doc/122379766/GAS-SECO>

El término gas seco o pobre sirve solo para indicar que es un gas del cual se puede obtener pocos hidrocarburos líquidos, por lo tanto él envió de este fluido a las plantas de extracción de líquidos del gas natural, es algo que habría que analizar muy bien. La clasificación del fluido, como gas húmedo no tiene nada que ver con el contenido de agua que arrastre el gas, sino simplemente con la posibilidad positiva de la extracción de líquido del gas, en una planta de extracción y posterior envió a las plantas de fraccionamiento, donde surge la disyuntiva, sin los (LGN) será recuperados con o sin etano, ya que en la actualidad la utilización del etano líquido es de gran importancia como materia prima para los procesos petroquímicos.

5.1.3 Tipo de Gas Condensado.

Los yacimientos de gas condensado son aquellos que están formados, o contienen un gas condensado. Un gas condensado es un fluido monofásico en condiciones de yacimiento originales. Está compuesto principalmente de metano [C1] y de otros hidrocarburos de cadena corta, pero también contiene hidrocarburos de cadena larga, denominados fracciones pesadas. Bajo ciertas condiciones de temperatura y presión, este fluido se separará en dos fases, una gaseosa y otra líquida, lo que se conoce como condensado retrógrado.

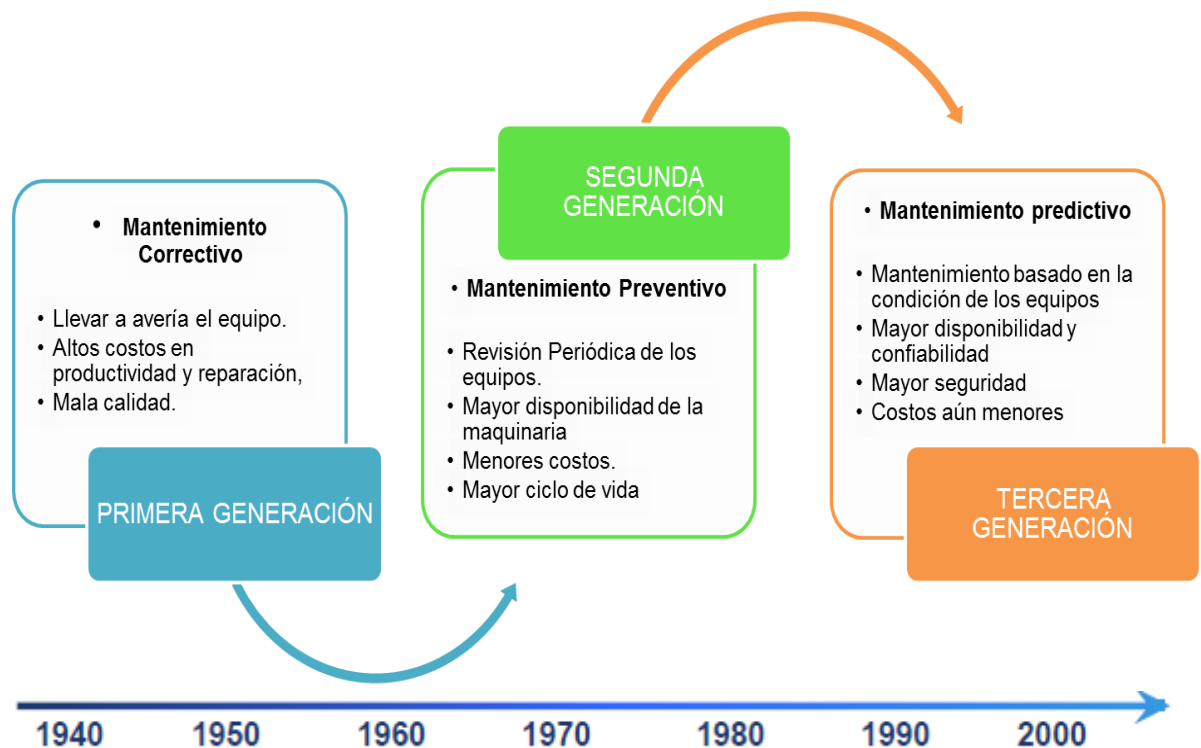
5.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

De acuerdo al artículo Tendencias Actuales del Mantenimiento Industrial¹¹ Utiliza la frase “el mantenimiento es inversión, no gasto”, esto lleva a pensar que las grandes industrias han roto con los paradigmas y se preocupan por tener una continua mejora en la gestión del mantenimiento.

¹¹ ...Tendencias Actuales del Mantenimiento Industrial, Sianis, Ingeniería de mantenimiento.

Para tener conocimiento en qué posición se encuentra actualmente el mantenimiento, obligatoriamente se debe conocer un poco desde sus inicios, a continuación se describe la evolución del mantenimiento:

Figura 12. Evolución del Mantenimiento



Fuente: El autor

Las nuevas tendencias en gestión de activos promueven que los procesos de gestión de mantenimiento posean metodologías óptimas para la planeación y ejecución de los programas de mantenimiento, para garantizar que los equipos pueden tener una mayor mantenibilidad y disponibilidad operacional.

En la industria se implementa dos técnicas para la planeación y ejecución de mantenimiento, con el objetivo principal de optimizar sus procesos de gestión, las cuales son:

- RCM (Reliability Centered Maintenance) (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)
- PMO (Optimización de mantenimiento planeado)

5.2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM

Sus principios básicos fueron desarrollados en los años sesenta para la industria aeronáutica norteamericana. El RCM es un proceso desarrollado por Stanley Nowlan and Heap en 1978 para aplicar en la fase de diseño del ciclo de vida de los activos, relacionando mantenimiento, fiabilidad y seguridad.

Esta metodología permite establecer los requerimientos necesarios de mantenimiento de los distintos equipos en su contexto operacional, tomando en cuenta el impacto que pueden provocar las fallas de estos equipos: al ambiente, seguridad humana y las operaciones, aspectos vitales dentro de cualquier proceso productivo¹².

5.2.1.1 Beneficios del RCM

El RCM ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos veinte años, que al ser aplicada correctamente puede producir beneficios como:

¹² Parra Carlos, *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, INGEMAN, 2008; 3-25.

a) Mayor seguridad y protección del entorno.

- Mejoramiento en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
- La revisión sistemática de las consecuencias de cada falla antes de considerar la cuestión operacional.
- Claras estrategias para prevenir los modos de falla que puedan afectar a la seguridad, y para las acciones “a falta de” que deban tomarse si no se pueden encontrar tareas sistemáticas apropiadas.
- Menos fallas causados por un mantenimiento innecesario.

b) Mejores rendimientos operativos.

- Un mayor énfasis en los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos.
- Menor daño secundario a continuación de las fallas de poca importancia (como resultado de una revisión extensa de los efectos de las fallas).
- Intervalos más largos entre las revisiones, y en algunos casos la eliminación completa de ellas.
- Listas de trabajos de interrupción más cortas, que llevan a paradas más cortas, más fácil de solucionar y menos costosas.
- La eliminación de componentes poco confiables.

c) Mayor control de los costos del mantenimiento.

- Menor mantenimiento rutinario.
- La prevención o eliminación de las fallas costosas.
- Pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento, tal como equipos de monitoreo de condición (“condition monitoring”)

- Mantenimientos mayores definidos el uso de técnicas de mantenimiento “a condición”.

De acuerdo con el estándar SAE JA1011 un programa de RCM debe asegurar que las siguientes siete preguntas sean contestadas satisfactoriamente y en la secuencia en que aparecen:¹³

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares de desempeño deseados del equipo en su contexto operacional (funciones)?
2. ¿De qué forma puede fallar y no cumplir con sus funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla (efectos de falla)?
5. ¿En qué forma afecta cada falla (consecuencia de falla)?
6. ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas y sus intervalos)?
7. ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva no previene la falla (acciones por omisión)?

¹³ Norma SAE JA1011, *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*

Figura 13. Proceso del RCM Implementado



Fuente: El Autor

5.2.1.2 Equipo de Trabajo para los Talleres de RCM

Con el objetivo de obtener resultados favorables en la implementación de la metodología, Se conforma un equipo de trabajo multidisciplinario, el cual está compuesto por el personal de mantenimiento, el de producción, operación y otras áreas que lleguen a aportar al caso en estudio.¹⁴

¹⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM 2. Edición en español. 2004. p. 7 – 18.

Figura 14. Grupo de Trabajo de RCM



Fuente: Moubray, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

5.2.2 OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO (PMO)¹⁵

PMO Es un proceso analítico para planta en funcionamiento, donde busca racionalizar los programas existentes de mantenimiento, teniendo en cuenta el historial de fallas y otra información técnica para eliminar defectos, así asegura que existe valor agregado y es costo efectivo para la organización.

Estadísticas comparadas de encuesta sobre eficacia del mantenimiento en procesos industriales, han demostrado que existen problemas con la mayoría de los programas de Mantenimiento Preventivo a pesar de que los responsables de su administración cumplen estrictamente los calendarios y sus ejecuciones, tanto en plantas, procesos y flotas de equipos.

El problema más común con los programas de mantenimiento de las plantas maduras que no fueron diseñados sólidamente desde un principio, es que entre el

¹⁵ TURNER, Steve. Análisis Mantenimiento de futuro PM Optimización PMO2000. Australia, Northwestern University - Kellogg School of Management Universidad Chapman.

40% y 60% de las tareas de Mantenimiento Preventivo hacen muy poco por el desempeño de la planta (Moubray 1997). Las conclusiones de varios estudios de PMO son:

1. Existen tareas duplicadas.
2. Algunas tareas se hacen muy frecuentemente y otras muy distantes.
3. Algunas tareas no generan beneficios más bien acumulan gastos.
4. Algunas tareas son intrusivas o basadas en overhauls, cuando deberían ser basadas en condición.
5. Se presentan muchas fallas que son costosas y fácilmente han podido ser prevenibles.

Por tal motivo se requiere realizar una optimización del plan de mantenimiento existente, por medio de la metodología del PMO, de acuerdo al estudio realizado por Fredy Ballesteros Correa "Metodología para Implementar Modelo de Confiabilidad Basado en PMO para concretos Argos"¹⁶ de la universidad Industrial de Santander; El PMO facilita el diseño de un marco de trabajo racional y rentable, cuando un sistema de PM está consolidado y los equipos están bajo control. Esto implica una buena experiencia en hacer mantenimiento planeado. A partir de ahí, las mejoras se pueden alcanzar fácilmente con la adecuada asignación de recursos y el personal de mantenimiento puede enfocar sus esfuerzos en los defectos de diseño de la planta y equipos, o en las limitaciones operativas.

5.2.2.1 Beneficios del PMO

Un sistema PMO es base para una Ingeniería de Confiabilidad efectiva y para la adecuada eliminación de defectos, teniendo en cuenta que:

¹⁶ Ballesteros Correa Fredy, Metodología para Implementar Modelo de Confiabilidad Basado en PMO para Concretos Argos, Universidad Industrial de Santander 2012, pag 34-35

- Se reconocen y resuelven los problemas con la información exacta.
- Se logra un efectivo uso de los recursos
- Se mejora la productividad de los operarios y del personal de mantenimiento
- El sistema se adapta a las situaciones y los objetivos específicos de cada cliente
- La optimización del PM motiva al personal

El PMO utiliza el historial de fallas existentes como una entrada en la revisión de actividades del PM, ya sea por medio de la experiencia de los técnicos y operadores o el historial en un sistema CMMS.

El análisis de confiabilidad basado en el historial de fallas de los equipos, permite determinar el comportamiento real durante su vida útil, con el fin de:

- Diseñar las políticas de mantenimiento a utilizar en el futuro.
- Determinar las frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo.
- Optimizar el uso de los recursos físicos y del talento humano.
- Calcular intervalos óptimos de sustitución económica de equipos.
- Minimizar los costos del departamento.

Los beneficios reales que se evidencian con el sistema PMO, como soporte de los proyectos de confiabilidad operacional son:

- Eliminación de fallas y paradas imprevistas.
- Utilización adecuada de los recursos disponibles.
- Incremento en la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y eficiencia global de los equipos.

5.2.2.2 Descripción del Proceso del PMO

Se debe anotar que un proceso de PMO, deberá basarse en la criticidad o ranking de los sistemas de la planta. Dicha criticidad se puede obtener revisando la jerarquización de equipos o su priorización en la programación de trabajos y subdividiendo o filtrando la información por sistemas y/o equipos para su análisis.

Una vez se identifica y mide la criticidad de los sistemas, el proyecto se enfoca en el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización. Los sistemas críticos tienden a ser los que impactan la organización de la siguiente manera:

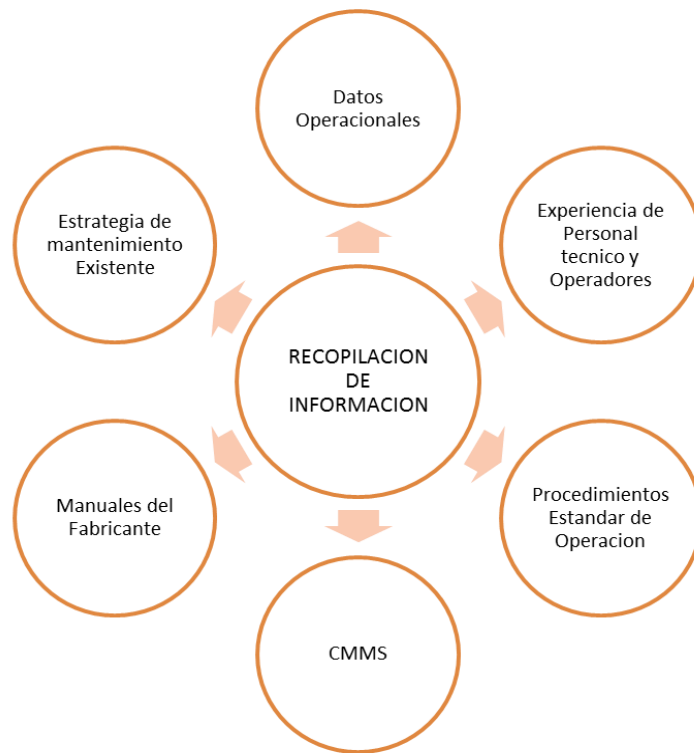
- Presentan riesgos altos para la seguridad y el medio ambiente.
- Presentan un impacto significativo en términos de costos y producción de la planta.
- Consumen mano de obra en exceso para ser operados y mantenidos.

Una vez se ha realizado el estudio de criticidad, esta es la base para determinar la prioridad en la que se analizarán los sistemas y el rigor de cada uno de los análisis.

El proceso de optimización del plan de mantenimiento PMO consta de nueve pasos, descritos a continuación: ¹³

Paso 1. Recopilación de Tareas: Se deben recopilar en un solo lugar todas las tareas de mantenimiento que están siendo ejecutadas a los equipos a analizar, ya sean formales o informales. En la figura 15 muestra las diferentes fuentes de información.

Figura 15. Fuentes de Información del PMO



Fuente: El Autor

Paso 2. Análisis de Modos de Falla (FMA): En el Paso 2 se debe involucrar a todo el personal de la planta, se trabajará en equipos multidisciplinarios quienes se encargaran de identificar para qué modos de falla están enfocadas las tareas de mantenimiento.

Tabla 1. Análisis de Modos de Falla

Tarea	Frecuencia	Responsable	Falla
Tarea 1	Diario	Operador	Falla A
Tarea 2	Diario	Operador	Falla B
Tarea 3	6 meses	Instalador	Falla C
Tarea 4	6 meses	Instalador	Falla A
Tarea 5	Anual	Electricista	Falla B
Tarea 6	Semanal	Instalador	Falla C

Fuente: Análisis de Mantenimiento del Futuro

Paso 3. Racionalización y Revisión del FMA: Ordenando la información por Modos de Falla hace más fácil la identificación de duplicación de tareas. La

duplicación de tareas se presenta cuando al mismo Modo de Falla se le aplican varias rutinas de PM por parte de las diferentes especialidades, por parte de los operadores y por parte de los especialistas de monitoreo. En este paso el equipo de trabajo revisa los modos de falla resultado del FMA y agrega modos de falla faltantes.

En este paso se incluyen modos de fallas basados en un análisis histórico, documentación técnica o la experiencia del equipo (Interdisciplinario) que realizó la metodología.

Tabla 2. Identificación de Modos de Falla Duplicados

Tarea	Responsable	Falla
Tarea 1	Operador	Falla A
Tarea 4	Instalador	Falla A
Tarea 7	Mecánico	Falla A
Tarea 2	Operados	Falla B
Tarea 5	Electricista	Falla B
Tarea 3	Instalador	Falla C
Tarea 6	Operador	Falla C
		Falla D

Fuente: Análisis de Mantenimiento del Futuro

Paso 4. Análisis Funcional (Opcional): Se pueden establecer las funciones perdidas por cada modo de falla, que se puede generar cuando se presenta una falla, este paso es opcional, pero justifica realizarlo cuando se trata de equipos de criticidad alta o de alto grado de complejidad, en donde es necesario el entendimiento de todas sus funciones para asegurar un mantenimiento sólido.

Tabla 3. Análisis Funcional

Tarea	Responsable	Falla	Función
Tarea 1	Operador	Falla A	Función 1
Tarea 4	Instalador	Falla A	
Tarea 7	Mecánico	Falla A	
Tarea 2	Operados	Falla B	Función 1
Tarea 5	Electricista	Falla B	
Tarea 3	Instalador	Falla C	Función 2
Tarea 6	Operador	Falla C	
		Falla D	Función 1

Fuente: Análisis de Mantenimiento del Futuro

Paso 5. Evaluación de Consecuencias: Evaluar cada modo de falla es analizado para determinar si las fallas son ocultas o evidentes. Para aquellas fallas evidentes se realiza un análisis de riesgos y consecuencias operacionales.

Tabla 4. Evolución de Consecuencias

Tarea	Responsable	Falla	Función	Consecuencia
Tarea 1	Operador	Falla A	Función 1	Operacional
Tarea 4	Instalador	Falla A		
Tarea 7	Mecánico	Falla A		
Tarea 2	Operados	Falla B	Función 1	Seguridad
Tarea 5	Electricista	Falla B		
Tarea 3	Instalador	Falla C	Función 2	Ocultas
Tarea 6	Operador	Falla C		
		Falla D	Función 1	No Operacional

Fuente: Análisis de Mantenimiento del Futuro

Paso 6. Definición de la Política de Mantenimiento: Selección de las tareas óptimas y aseguramiento del enfoque hacia el monitoreo de condición, minimizando el mantenimiento intrusivo y los costos y maximizando la vida útil del equipo. Las cuales deben ser prácticas y efectivas, esto quiere decir que deben ser técnicamente factibles y basadas en el modo de falla del activo o ítem y evita las consecuencias del modo de falla.

Hay tres estrategias de mantenimiento para mitigar o eliminar los modos de falla evidentes:

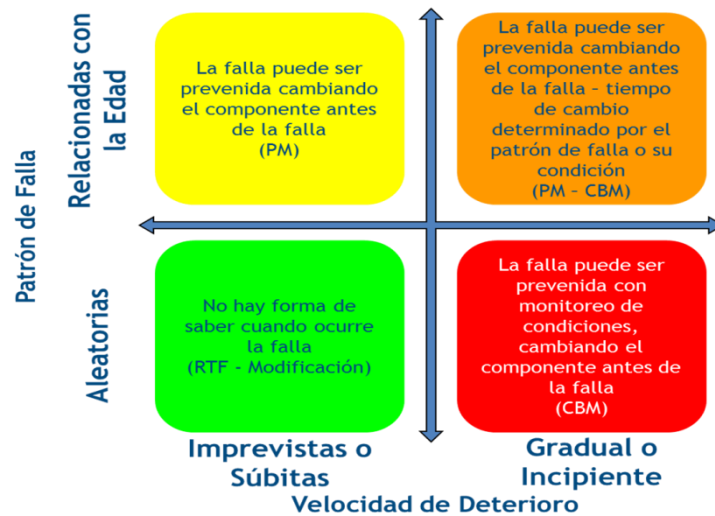
- Monitoreo de Condición (Mantenimiento Predictivo)
 - Intervalo determinado por el intervalo P-F.
- Reemplazo o reparación programada (Sustitución cíclica - Mantenimiento Preventivo)
 - Intervalo determinado por la vida segura o vida útil.
- Llevar a falla
 - Donde las fallas son aleatorias e impredecibles.
 - El costo del PM es mayor que el costo de la falla.

Tabla 5. Definición de Política de Mantenimiento

Modo de Falla	Función	Consecuencia	Tarea Nueva	Frecuencia	Responsable
Falla A	Función 1	Peligrosa	Inspección	Diario	Operador
Falla B	Función 2	Operacional	Inspección	Semanal	Mecánico
Falla C	Función 3	Operacional	No Mtt Programado		
Falla D	Función 4	Ocultas	Pruebas	6 meses	Electricista

Fuente: El Autor

Figura 16. Selección de Tareas Según el Tipo de Falla



Fuente: Curso RCM-PMO, 2014

Paso 7. Agrupación y Revisión: Se agrupan las tareas de mantenimiento por especialidad responsable y frecuencias, y se revisan los resultados del análisis para establecer los medios eficientes y efectivos para asegurar que la política de mantenimiento está alineada con los objetivos tanto de mantenimiento como con los de producción.

Paso 8. Aprobación e Implementación: el resultado del análisis se presenta a la alta dirección para su revisión y comentarios. El equipo de trabajo realiza la presentación de los nuevos cambios a realizar en el actual plan de mantenimiento.

Paso 9. Programa Dinámico: Durante el desarrollo de los Pasos 1 al 9, el proceso de PMO ha establecido una estructura racional y costo efectivo de PM. En el “Programa Dinámico”, el plan de PM se consolida y se toma control de la planta, cuando se reemplaza el mantenimiento reactivo por uno planeado. De este punto en adelante el mejoramiento puede acelerarse fácilmente y los recursos que se liberan pueden enfocarse a corregir defectos de diseño o limitaciones inherentes a la operación.

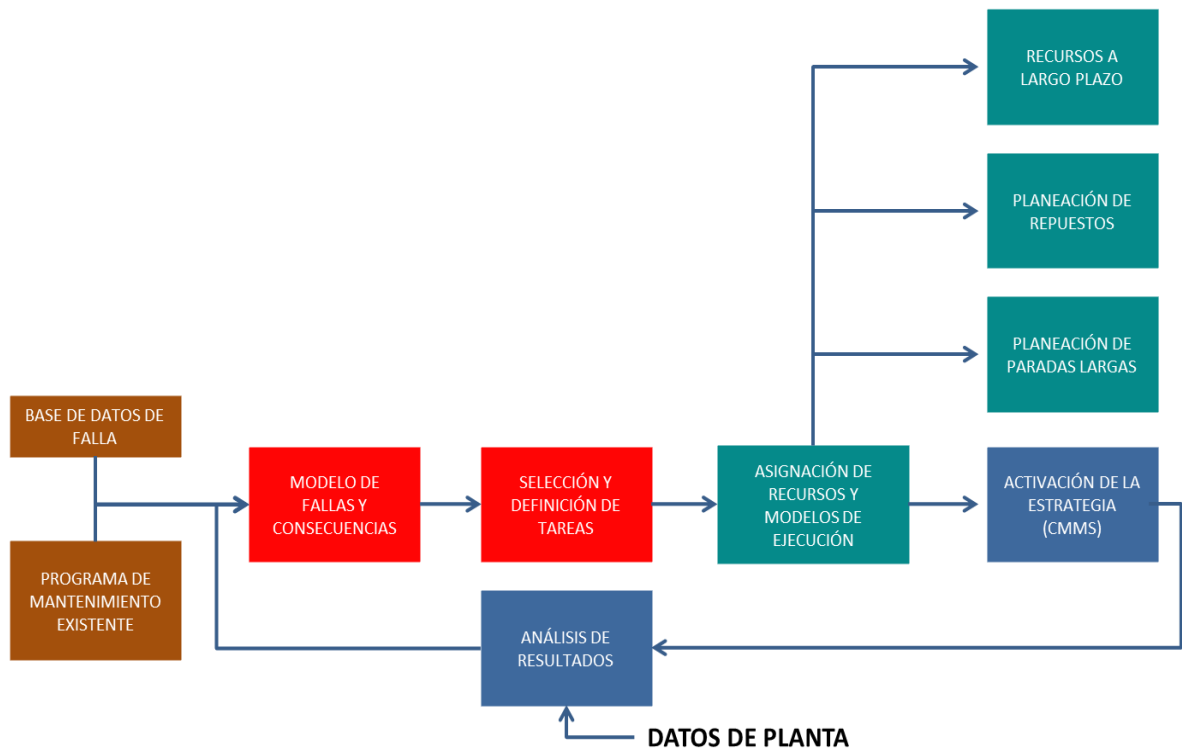
Durante este paso, varios de los procesos vitales de la Gestión de los Activos pueden afinarse mientras la tasa de mejoramiento se acelera. Estos procesos son:

- Estrategia de Producción y Mantenimiento
- Medición de Desempeño
- Reportes y Eliminación de Fallas
- Planeación y Programación
- Gestión de Inventarios
- Workshops y Prácticas de Mantenimiento

La intención final de PMO es la de crear una organización que busca continuamente su mejoramiento, para ello hay que crear conciencia que es importante evaluar todas las tareas que se ejecutan y todas las fallas que se presenten. Para lograr las metas es importante contar con personal capacitado en técnicas de análisis e igualmente contar con la motivación al personal por parte de la dirección para crear en el trabajador un sentido de pertenecía, de compromiso y de creatividad para mejorar su trabajo y optimizar costos de producción.

El siguiente flujograma representa la integración de los 9 pasos del proceso de implementación de la metodología PMO.

Figura 17. Flujograma de Optimización de Mantenimiento Planificado



Fuente: OMCS International

5.2.2.3 Consolidación y Análisis de la Estrategia Actual de Mantenimiento.¹³

La toma de datos acerca de la confiabilidad de la planta trae muchos beneficios. Los dos más importantes son:

- Direccionar el análisis hacia el área de oportunidad
- Proveer las bases para los equipos de trabajo en los proyectos y así demostrar el valor del trabajo realizado.

Se consolida las tareas relacionadas con recolección de la información sobre planes de mantenimiento e información adicional, con el fin de establecer un orden funcional para los activos objeto de análisis.

La Optimización del Mantenimiento Planificado inició con la recolección o documentación del programa de mantenimiento existente en el CMMS.

5.2.2.4 Equipos Multifuncionales de Trabajo para PMO

PMO es un proceso que se basa en el mantenimiento preventivo y en análisis racional de las tareas. El cual requiere el involucramiento del personal creando sentido de pertenencia y compromiso para lograr cambios.

La base de los talleres de optimización lo constituye el equipo de análisis, (Técnicos, Confiabilidad, producción y supervisión). La participación dinámica del equipo de análisis permite evaluar el contexto actual de cada uno de los activos y de acuerdo a la información recolectada, determinar las tareas, frecuencias, repuestos y herramientas necesarios para asegurar la ejecución adecuada del plan de mantenimiento que garanticen la función y la confiabilidad de cada unidad funcional.

Conceptos para tener en cuenta en la implementación de la Optimización del Mantenimiento Planeado:

- **Modificar el detalle de la tarea:** Se mejora la descripción de las tareas, para dar una mayor claridad de la actividad a ejecutar, con esto se busca que el técnico ejecutante se sienta familiarizado con la descripción que se le solicita realizar.
- **Tarea Nueva:** Tarea creada que no existían en la estrategia actual.
- **Actividades operaciones:** Actividades enfocadas a determinar la condición de un activo generalmente asociadas a inspecciones sensoriales que puede ejecutar el operador desde su rol.
- **MTBF:** Tiempo medio entre fallas.

- **Intervalo extendido:** El intervalo de ejecución de mantenimiento preventivo se incrementa teniendo en cuenta el MTBF del modo de falla.
- **Intervalo reducido:** El intervalo de ejecución de mantenimiento preventivo se reduce teniendo en cuenta el MTBF del modo de falla.
- **Monitoreo de condición:** Tareas a las que se les implementa política de inspección y actividades predictivas.
- **No agrega valor:** Tareas que no eliminan o mitigan el modo de falla en un activo.
- **Actividad duplicada:** Tareas repetitivas con la misma característica de patrón y modo de falla realizada por la misma u otra especialidad.
- **Formalización de tarea:** Estas son técnicamente y económicamente sustentables y están formalmente en el plan de mantenimiento.
- **Cambio de ejecutor:** Tareas de mantenimiento ejecutadas por una especialidad que no posee criterios técnicos para realizarla.
- **Modo de Falla:** es una causa de falla o una posible manera en la que un sistema puede fallar. Cuando un sistema tiene muchas maneras posibles de fallar, tiene múltiples modos de falla o riesgos que compiten.
- **Falla Potencial:** Una falla potencial es una condición identificable que indica que una falla funcional está en proceso de ocurrir.
- **Reacondicionamiento cíclico:** consiste en devolverle a un elemento la capacidad de cumplir su función, antes o en el límite de vida útil definida, independientemente de su condición en ese momento.

6. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL PMO AL CAMPO PRODUCTOR DE GAS

Los bajos precios del barril en la industria del petróleo y gas de los dos últimos años han hecho que las organizaciones se reorganicen y opten por mejorar sus procesos internos y de contratación externa, por esta razón es necesario optimizar el proceso de mantenimiento que actualmente tiene el 40% del total del presupuesto de la organización; esto a través de la implementación de una metodología de confiabilidad como lo es el PMO (Optimización del mantenimiento planeado) desarrollada en los equipos principales de una de las locaciones de gas del bloque productor, todos esto con la finalidad de incrementar la disponibilidad de los equipos, con un nivel de riesgo y costos controlados.

6.1 DEFINICIÓN DE LA LOCACIÓN

La implementación de la metodología de PMO tiene como fin definir las actividades de mantenimiento para las diferentes áreas de la organización (Instrumentación Mecánica, Electricidad y CBM), de acuerdo al análisis de los modos, efectos y consecuencias de fallas.

Dentro del proceso de optimización de los planes de mantenimiento (PMO), la primera acción desarrollada fue definir cuál de las diferentes locaciones del bloque productor se le implementaría la metodología, los aspectos principales de evaluación fueron: Producción total de la locación, costos invertidos en mantenimiento correctivo y preventivo y horas hombre utilizadas en mantenimiento.

A cada uno de estos aspectos se les dio un peso de prioridad definido entre los departamentos de mantenimiento y producción, los valores son los siguientes:

Tabla 6. Porcentajes de priorización para cada aspecto de evaluación.

Aspecto de Evaluación	Peso de Priorización
------------------------------	-----------------------------

Horas Hombre Mtto Correctivo	20%
Costos de Mantenimiento	30%
Producción	50%

Fuente: El Autor

En la tabla 7 se muestra los costos de cada una de las locaciones por mantenimiento preventivo y correctivo tanto planeados como urgentes, entre el periodo del 2014 al 2016, evidenciando que las locaciones MI1, PA1 y C3, tienen altos costos de mantenimientos que oscilan entre \$3.000.000 y \$3.800.000 CO, los cuales totalizan los costos por manos de obra, logística (Vuelos de helicóptero) y materiales.

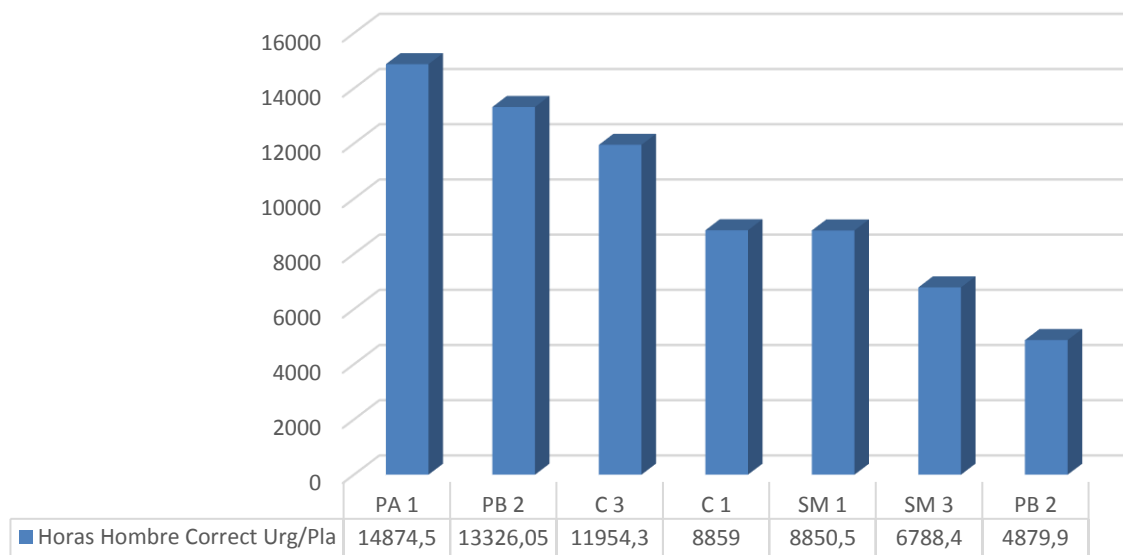
Tabla 7. Costos de Mantenimientos Preventivos y correctivos 2014- 2016.

Locación	Σ Costos Preventivo - Correctivo
MI 1	\$ 3.749.199.368
PA 1	\$ 3.567.730.432
C 3	\$ 3.020.435.144
C 1	\$ 2.504.189.160
SM 1	\$ 2.264.426.720
PB 2	\$ 1.623.395.992
SM 3	\$ 1.268.776.032
Total	\$ 17.998.152.848

Fuente: El Autor

En la figura 18 se ve el consolidado de horas hombre invertidas en mantenimiento correctivo, donde las locaciones PA1, PB2 y C3, son en las que mayores horas de atención por eventos no planeados se tienen, convertidas en Bad Actors (Malos Actores) para mantenimiento.

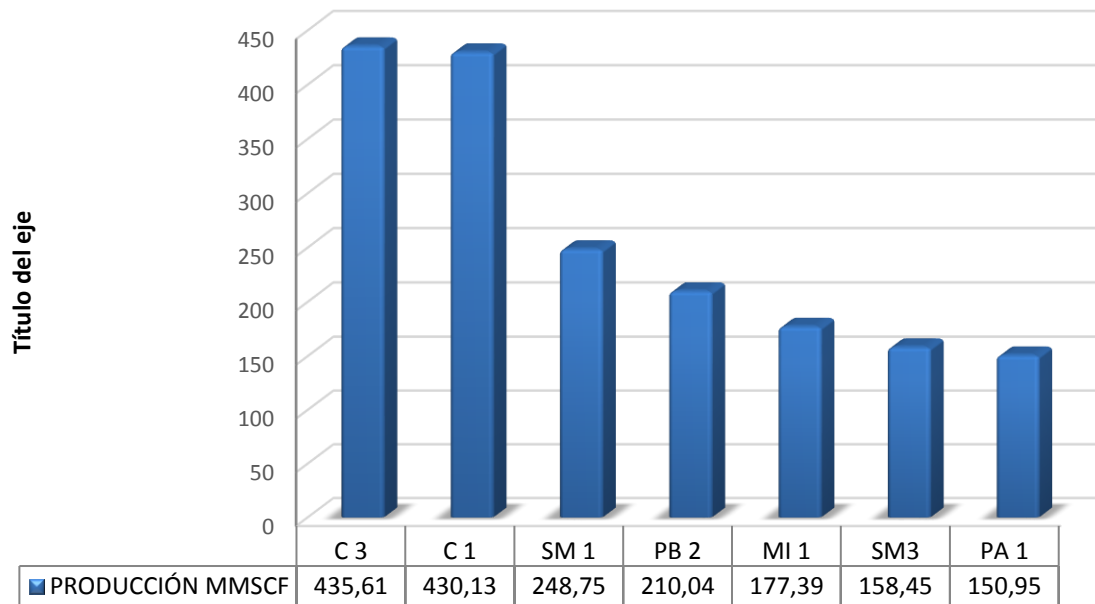
Figura 18. Horas Hombre por Correctivo



Fuente: El Autor

El tercer ítem de evaluación para la priorización de las locaciones es su aporte en la producción total del bloque productor siendo C1 con 430.13 MMSCF y C3 con 435.61 MMSCF, las de mayor aporte. Ve figura 19.

Figura 19. Producción MMSCF Total



Fuente: El Autor

Con los valores de priorización definidos por producción y mantenimiento, se realizó el cálculo de nivel de prioridad, dándole un puntaje de 7 al de mayor relevancia por cada aspecto de evaluación y uno al de menor. Estos valores se multiplicaron por el nivel de prioridad y se sumaron para tener el ranquin final, ver ecuación 1:

$$\begin{aligned}
 \text{PRIORIDAD} = & \text{Puntaje HH} \times \text{Peso de Priorización HH} \\
 & + \text{Puntaje Costos} \times \text{Peso de Priorización Costos} \\
 & + \text{Puntaje Producción} \times \text{Peso de Priorización Producción}
 \end{aligned}$$

Ecuación 1.

Fuente: Autor

La tabla 8 muestra los puntajes asignados a cada locación para los tres aspectos evaluación definidos para el análisis, ordenados de mayor a menor.

Tabla 8. Puntaje asignado por aspecto de evaluación

Horas Hombre	Puntaje	Costos de Mantenimiento	Puntaje	Producción	Puntaje
PA 1	7	MI 1	7	C 3	7
PB 2	6	PA 1	6	C 1	6
C 3	5	C 3	5	SM 1	5
C 1	4	C 1	4	PB 2	4
SM 1	3	SM 1	3	MI 1	3
SM 3	2	PB 2	2	SM 3	2
PB 2	1	SM 3	1	PA 1	1

Fuente: El Autor

Después de aplicar la ocasión 1, se obtiene el ranquin expuesto en la tabla 9, donde la locación C3 se considera como la de mayor prioridad para iniciar el proceso de optimización, principalmente por su importancia en la producción total del bloque de gas y por estar ubicada en la tercera posición en costos de mantenimiento y horas hombre invertidas en tareas correctivas.

Tabla 9. Prioridad de locaciones para implementar PMO

Locación	Puntaje Prioridad
C 3	6
PA 1	5,1
C 1	5
SM 1	4
PB 2	3,8
PB 2	3
SM 3	1,7

Fuente: Autor

6.2 DESCRIPCION DE EQUIPOS DE SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO

La locación de gas C3, cuenta con 5 diferentes sistemas para la extracción y transporte de gas húmedo a la planta de tratamiento de gas principal, los cuales están descritos específicamente en el capítulo 1, en la sección 1.2, por esta razón se definieron para la optimización de la estrategia de mantenimiento incluyendo la instrumentación asociada a cada sistema:

Tabla 10. Sistemas Definidos en el Alcance

SISTEMA
Sistema de Aire
Drenajes y Venteos de Gas
Inyección de Químico

Fuente: El Autor

En la tabla 11 se muestra las especificaciones de los equipos de cada sistema ya mencionado en la tabla 10, con su correspondiente TAG y descripción de tipo y marca de equipo, las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos se encuentran en el Anexo A.

Tabla 11. Facilidades de la Locación C3

TAG	EQUIPO	TIPO DE EQUIPO	MARCA	SISTEMA
C-21710/C-21720	Compresor de Aire	Tornillo LS 12-60	SULLAIR	Aire de Instrumentos y Servicios
SKZZ-21710/SKZZ-21720	Secado de Aire		SULLAIR	Aire de Instrumentos y Servicios
PAH-21450A/B	Bombas Exportadoras	Pistón	Milton Roy	Drenajes y Venteos de Gas
PAY-21395A-H	Bombas de Químico	Pistón	OBL	Inyección de Químicos

Fuente: El Autor

La locación de gas está conformada por dos compresores de aire tipo tornillo, donde uno está en línea y otro esta standby, 3 bombas de exportación tipo pistón y 4 bombas de inyección de químico tipo pistón. Ver figura 20.

Figura 20. Facilidades de Locación C3



Fuente: El Autor

6.3 DESARROLLO DE LOS 9 PASOS DE PMO

6.3.1 Recolección de Tareas.

La Optimización del Mantenimiento Planificado inició con la recolección o documentación del programa de mantenimiento existente en SAP PM, reportes de fallas, experiencia del área de mantenimiento, confiabilidad y producción. Esta información fue procesada y cargada en una hoja de cálculo en Excel, como se ilustra en la figura 21, donde describe la tarea, el tiempo de ejecución, la frecuencia de intervención y el responsable. La ampliación de la información se encuentra en el Anexo B en la hoja de Analisis_de_PMO, para cada uno de los equipos seleccionados.

Figura 21. Planes de Mantenimiento Existentes de Locación de Gas

1M Secador Sullair SD-160/SD-600	Tiempo	Frec	Responsible
Realizar una revisión visual general de los racores, escuchar cualquier sonido el cual puede identificar una fuga de aire, y observar cambios en los valores indicados durante la operación.	00:20 HORAS	1 mes	E1ME_SUP
Verificar la gel de sílice (silica gel) en el indicador de humedad de la salida:	00:10 HORAS	1 mes	E1ME_SUP
Azúl indica un punto de rocío aproximado de -13°F o mejor.	00:00 HORAS	1 mes	E1ME_SUP
Rosado indica un punto de rocío aproximado de 32°F o peor.	00:00 HORAS	1 mes	E1ME_SUP
la transparencia indica un punto de rocío aproximado de 59 °F o peor.	00:00 HORAS	1 mes	E1ME_SUP
Asegurar el funcionamiento adecuado del drenaje de condensado automático en el prefiltro operándolo manualmente.	00:15 HORAS	1 mes	E1ME_SUP
Revisar el monitor de eventos de los pre filtros. Un valor en rojo indica que el elemento se ha bloqueado por excesivos residuos.	00:05 HORAS	1 mes	E1ME_SUP
Revisar el monitor de eventos del postfiltro. Un valor en rojo indica que el elemento se ha bloqueado por excesivos residuos.	00:05 HORAS	1 mes	E1ME_SUP
Verificar la contrapresión del silenciador detrás del conjunto de la válvula de ingreso leyendo el indicador de presión de la cámara que está siendo regenerada. No debe exceder 3 psig.	00:05 HORAS	1 mes	E1ME_SUP
Drenar el alojamiento del indicador de humedad de cualquier acumulación de condensado. (Esta actividad debe ser realizada semanalmente.)	00:15 HORAS	1 mes	E1ME_SUP
Notificación Horas Inst, y CtroL		1 mes	E1ME_SUP
Notificación hrs. helicoptero		1 mes	E5LO_HEL

Fuente: El Autor

Tabla 12. Descripción de Puestos de Trabajo


COD. PUESTO DE TRABAJO	DESCRIPCIÓN PUESTO DE TRABAJO
E1ME	Mecánico
E1EL	Eléctrico
E1IC	Instrumentación y Control
E1CBM	CBM
E1LO	Locativo
E1OP	Operador


Fuente: El Autor

6.3.2 Análisis de Modos de Falla Dominante por Activo.

Luego que el área de confiabilidad realizara la recolección de toda la información de los planes de mantenimiento existentes, procedió a realizar una revisión preliminar de los modos de falla de los equipos rotativos con la instrumentación asociada a cada uno, perteneciente a la locación de gas C3, los cuales fueron asignados al plan de mantenimiento que correspondían.

En esta revisión se identificaron deficiencias en el PM existentes, los cuales permitieron definir los temas claves a solucionar en los talleres con el grupo multidisciplinario, detalladas a continuación:

 Los planes de mantenimiento existentes tenían como referencia los manuales del fabricante, por tal motivo eran genéricos e iguales para equipos de la misma familia, ya sea instrumentos o equipos rotativos.

 Los equipos rotativos, como: compresores de aire, bombas exportadores y bombas de químico no contaban con un plan de mantenimiento predictivo (CBM).

- 🔑 En las hojas de ruta de cada Plan de mantenimiento no estaba programado el tiempo de ejecución por tarea en el SAP.
- 🔑 No habían repuestos, ni cantidades asociadas en las hojas de ruta de ningún equipo en el SAP.
- 🔑 Los alcances de las tareas no eran claros de entender ni detallados para el técnico ejecutor.
- 🔑 Las actividades del plan de mantenimiento actual no tenían ventanas operacionales definidas.
- 🔑 Las bombas de exportación tenían definida una frecuencia de ejecución del mantenimiento por calendario y no por horas, las buenas prácticas de mantenimiento de clase mundial recomiendan trabajar por horas para equipos rotativos.
- 🔑 Algunas tareas estaban designadas para la especialidad equivocada.

Al ordenar la información por modos de falla se hace más fácil la identificación de duplicación de tareas, esto se presenta cuando al mismo modo de falla se le aplican varias rutinas de mantenimiento preventivo por parte de las diferentes especialidades o por la misma, la lista de los modos se elabora con base en el historial de fallas del SAP PM (Ver Anexo B, hoja de Excel Modos_de_Falla_MTBF), documentación técnica o con la experiencia del equipo de trabajo. La imagen 22 ilustra el resultado de este paso.

Figura 22. Análisis de Modos de Falla

codigo_falla_pmo	descr_falla_pmo	Cantidad	MTBF(dias)	DP_VE 6	Comentarios
28_10_06a	Restricción de desecante por contaminación	1	891	NO	
28_30_13	Restricción de válvula de control debido a bloqueo y/o atascamiento.	1	891	SI	
28_06_20	Paro imprevisto de compresor por desgaste de actuador	1	891	SI	
28_30_05	Fuga externa de aire por válvulas de control debido a atascamiento	2	445	SI	
28_17_10	Restricción de silenciadores por contaminación	3	297	SI	
28_10_06b	Restricción de elemento filtrante por contaminación	3	297	SI	
28_17_02	Lectura anormal del instrumento por rotura	1	891	SI	
codigo_falla_pmo	descr_falla_pmo	Cantidad	MTBF(dias)	DP_VE 8	Comentarios
28_10_06a	Restricción de desecante por contaminación	1	891	SI	
28_30_13	Restricción de válvula de control debido a bloqueo y/o atascamiento.	1	891	SI	
28_06_20	Paro imprevisto de compresor por desgaste de actuador	1	891	SI	
28_30_05	Fuga externa de aire por válvulas de control debido a atascamiento	2	445	SI	
28_17_10	Restricción de silenciadores por contaminación	3	297	SI	
28_10_06b	Restricción de elemento filtrante por contaminación	3	297	SI	
28_17_02	Lectura anormal del instrumento por rotura	1	891	SI	

Fuente: El Autor

6.3.3 Racionalización y Revisión por Medio de Talleres de PMO

La base de los talleres de optimización lo constituye el equipo de análisis, (Técnicos, ingenieros de confiabilidad, supervisión de mantenimiento y de producción). La participación dinámica del equipo de análisis permite evaluar el contexto actual de cada uno de los activos y de acuerdo a la información recolectada, determinar las tareas, frecuencias, repuestos y herramientas necesarios para asegurar la ejecución adecuada del plan de mantenimiento que garanticen la función y la confiabilidad de cada activo (Mecánico, eléctrico y de instrumentación).

Los talleres de PMO se realizaron en dos fases, en la primera fase se contó con la participación únicamente de los técnicos, en las especialidades de mecánica, electricidad, instrumentación y control y CBM, donde se tuvieron espacios de 2 horas cada 3 días. En este tiempo se evaluó cada una de las tareas y modos de

falla ya revisados por el grupo de confiabilidad, donde junto a los técnicos y de acuerdo a su experiencia se formalizaron los siguientes puntos, clasificándolos por colores en el documento de Excel (Anexo B).

En este paso se encontró tareas duplicadas, las cuales fueron eliminadas, se crearon nuevas tareas, implementado tareas de CBM, en los equipos que lo requerían, se modificaron puestos de trabajo y se asignaron tareas de inspección para los operadores, de igual manera se definió herramientas y repuestos necesarios para cada actividad, esto se clasifico por tipo de equipo, marca, tamaño y tipo de operación.

Tabla 13. Operaciones realizadas en el Taller de PMO

	Se retira la operación
	Se modifica una tarea ya existente.
	Se crea una tarea nueva
	Se deja tarea tal como esta

Fuente: El Autor

Tabla 14. Racionalización y Revisión por Medio de Talleres de PMO

TAREAS PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL	Frecuencia Actual	Paquete de Mtto	Puesto de Trabajo Responsable	Modo de Falla Prevenido
Presión de descarga. Máximo: 150 PSIG.	1000 Hr	45 días	E1ME_SUP	28_06_08a: Salida excesiva por válvula reguladora por estar descalibrada. 28_06_11a: Ruido excesivo del compresor por desgaste de válvula.
Presión diferencial del filtro de aire. 3-4 psid	1000 Hr	45 días	E1ME_SUP	28_06_15a: Restricción de Filtros por Contaminación.
Presión diferencial del filtro de aceite. 0-10.15 psid	1000 Hr	45 días	E1ME_SUP	28_06_02b: Lectura anormal del indicador de presión por estar descalibrado. 28_06_15a: Restricción de Filtros por Contaminación.
Presión diferencial del separador de Aceite. 0 - 7 psid	1000 Hr	45 días	E1ME_SUP	28_06_15a: Restricción de Filtros por Contaminación 28_06_02b: Lectura anormal del indicador de presión por estar descalibrado.
Verificar si alguno de los indicadores de servicio de filtro de aire, filtro de aceite, y separador de aceite está en rojo y cumple estas horas de trabajo. Si es así, cambiar el (los) item (s) corre	1000 Hr	45 días	E1ME_SUP	28_06_14c: Desviación del nivel del aceite lubricante por obstrucción y/o atascamiento. 28_06_15a: Restricción de Filtros por Contaminación.
Realizar limpieza de válvulas de control (Válvula check, válvula solenoide, válvula reguladora, válvula de 3 vías, filtro de línea de retorno de aceite).	1000 Hr	45 días	E1ME_SUP	28_06_09a: Fuga interna de líquidos hacia el aceite lubricante por desgaste de válvula. 28_06_09b: Fuga interna de líquidos hacia el aceite lubricante por obstrucción y/o atascamiento. 28_06_09c: Fuga interna en válvulas por desgaste 28_06_10a: Baja salida del compresor por desgaste de válvula.

Fuente: El Autor

6.3.4 Definición de la Política de Mantenimiento

La definición de la política de mantenimiento fue ajustada en la segunda fase del taller de PMO, se realizó junto a los supervisores de mantenimiento y producción, en sesiones de 2 horas cada 10 días, donde se validó y definió las actividades de mantenimiento ya revisadas previamente por parte de los técnicos, ajustando los tiempos de ejecución y frecuencias de intervención por cada una de las tareas, el número de personal por actividad, confirmando los repuestos ya asignados y los responsables para ejecutar las actividades.

Ratificando que los modos de falla existentes como nuevos estaban cubiertos por cada una de las tareas establecidas y además que eran costo efectivos para la operación, reduciendo costos en mantenimiento por implementar tareas más efectivas y menos costosas como CBM (Frente a lo que cuestan las tareas repetidas de los técnicos mantenedores, más la logística de traslados al ser un locación remota), las cuales no son intrusivas en el equipo, también se eliminaron tareas que no agregan valor y que están duplicadas para el mismo equipo.

A continuación se muestra el plan de mantenimiento con las modificaciones realizadas, donde relaciona el PM antiguo y el PM optimizado. (Ver Anexo B, hoja de Excel Análisis PMO).

Tabla 15. Identificación de Modos de Falla duplicados del Compresor de Aire

TAREAS PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL	Frecuencia Actual	Paquete de Mtto	Puesto de Trabajo Responsable	Modo de Falla Prevenido	TAREA OPTIMIZADA	TIPO DE TAREA	CAMBIO EFECTUADO A LA TAREA ORIGINAL	MODOS DE FALLA CUBIERTO POR LA TAREA
Observar los indicadores del tablero de mando y asegurarse que están monitoreando las lecturas correctas. Registrar lo sgte.	1000 Hr	45 días	E1ME_SUP		Observar los indicadores del tablero de mando y asegurarse que están monitoreando las lecturas correctas. (Registrar los valores)	Tarea por condición	Detalle de la tarea modificado	Lectura anormal del indicador de presión por estar descalibrado.
Horas de servicio.	1000 Hr	45 días	E1ME_SUP				Eliminada no arega valor	
Temperatura de descarga de aire. Norma I: 82 - 96 °C. Paro: 115 °C.	1000 Hr	45 días	E1ME_SUP				Eliminada se adiciona a otra tarea	
Presión de descarga. Máximo: 150 PSIG.	1000 Hr	45 días	E1ME_SUP	28_06_08a: Salida excesiva por válvula reguladora por estar descalibrada. 28_06_11a: Ruido excesivo del compresor por desgaste de válvula.			Detalle de la tarea modificado	Lectura anormal del indicador de presión por estar descalibrado. Restricción de Filtros por Contaminación.
Voltaje del motor: Nominal: 480 V	1000 Hr	45 días	E1ME_SUP		Registrar los parámetros eléctricos del motor: Voltaje, Velocidad y Amperaje	Búsqueda de fallas	Detalle de la tarea modificado	Bajo aislamiento del motor eléctrico Alta temperatura del motor eléctrico

Tabla 11. (Continuación)

Presión diferencial del filtro de aceite. 0-10.15 psid	1000 Hr	45 días	E1ME_SUP	28_06_02b: Lectura anormal del indicador de presión por estar descalibrado. 28_06_15a: Restricción de Filtros por Contaminación.			Eliminada se adiciona a otra tarea	
Presión diferencial del separador de Aceite. 0 - 7 psid	1000 Hr	45 días	E1ME_SUP	28_06_15a: Restricción de Filtros por Contaminación 28_06_02b: Lectura anormal del indicador de presión por estar descalibrado.			Eliminada se adiciona a otra tarea	28_06_15a: Restricción de Filtros por Contaminación 28_06_02b: Lectura anormal del indicador de presión por estar descalibrado.
					Inspeccione las tuberías y válvulas para identificar la presencia de fugas de aire o aceite.	4. Búsqueda de fallas	Nueva tarea	28_06_05a: Fuga de aceite a través de una cañería por rotura. 28_06_05b: Fuga de aceite por tanque separador por desgaste en válvula. 28_06_04a: Fuga de aceite del tanque por rotura. 28_06_05c: Fuga de agua por cañería por rotura

Fuente: El Autor

Cada uno de los cambios realizados tiene su justificación en la hoja de Excel llamada Análisis PMO en el Anexo B, donde se encuentra todos los talleres de PMO para los compresores de aire, los secadores de aire, las bombas exportadoras, las bombas de inyección de químico y la instrumentación asociada a cada uno de estos equipos.

Modificaciones realizadas a las operaciones actuales:

- Modificar el detalle de la tarea
- Tarea Nueva
- Actividades para operaciones
- Intervalo MTBF extendido
- Monitoreo de condición
- Eliminación de tareas que no agregan valor
- Actividad duplicada
- Formalización de tarea
- Cambio de ejecutor

En la tabla 16 se observa la política de mantenimiento definida del compresor de aire, el cual tenía una frecuencia de intervención de 45 días, para un mantenimiento general. El nuevo plan de mantenimiento definió una frecuencia trimestral para un mantenimiento predictivo por parte de CBM, un mantenimiento industrial trimestral y anual para las especialidades de mecánica, electricidad e instrumentación y por último se realizó una rutina diaria para los operadores.

Tabla 16. Definición de la Política de Mantenimiento

TAREA OPTIMIZADA	FRECUENCIA	Puesto de Trabajo Responsable	DURACIÓN DE LA TAREA (MINUTOS)	PERSONAL NECESARIO PARA LA TAREA	INSUMOS / REPUESTOS	Cantidad	EQUIPOS / HERRAMIENTAS	CONDICION DEL EQUIPO PARA LA EJECUCIÓN DE LA TAREA
Realizar limpieza de válvulas de control (Válvula check, válvula solenoide, válvula reguladora, válvula de 3 vías, filtro de línea de retorno de aceite)	3 Meses	E1ME_SUP	30	2	Afloja todo. Kit de reparación de la válvula de 3 vías.	1 UN	Llaves mixta en pulgadas	FUERA DE SERVICIO
Realizar limpieza interna de encabinado (Paredes y componentes internos).	3 Meses	E1ME_SUP	20	2	Trapo industrial (Ya está cargado una cantidad de 5 Kg en plan original).			FUERA DE SERVICIO
Inspección del acoplamiento SAGA 22 y elemento acople 250018-551. De encontrarse con fisuras, deformaciones, cambios de coloración. Realizar el cambio. La fecha se encuentra en la parte interior del a	3 Meses	E1ME_SUP	10	2	250018-551: Acoplamiento compresor Modelo LS12-60HH	1	Llaves mixta en pulgadas	FUERA DE SERVICIO
Limpia el sistema de evacuación de condensados para prevenir obstrucciones de orificios de drenaje.	3 Meses	E1ME_SUP	15	2	Trapo industrial (Ya está cargado una cantidad de 5 Kg en plan original).		Llaves mixta en pulgadas	FUERA DE SERVICIO

6.3.5 Aprobación de las modificaciones realizadas

El resultado del análisis final se presentará a la supervisión de mantenimiento de las locaciones de gas para su revisión, comentarios y aprobación, para que se puedan realizar las modificaciones planteadas en el ERP SAP.

7. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO (PMO)

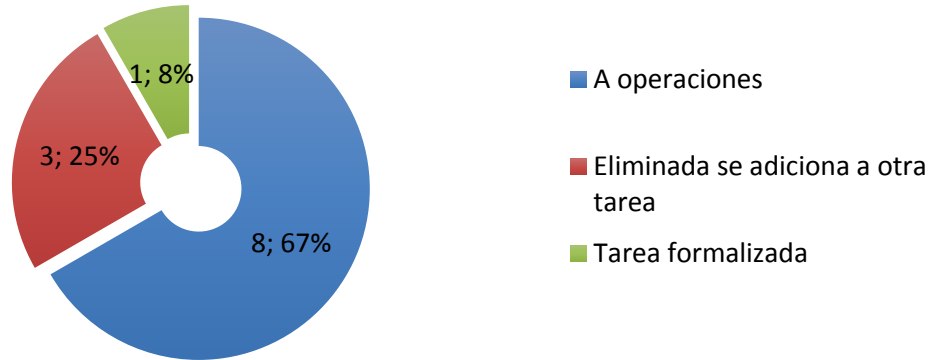
Al implementar la metodología de PMO en los planes de mantenimiento en los equipos de la locación de gas C3, permitió identificar y eliminar muchas de las deficiencias y excesos que se presentaban en la gestión de mantenimiento, las cuales solo generaban altos costos y acortaban la vida útil del equipo. El objetivo de generar la optimización de los planes de mantenimiento es llegar a tener una excelencia organizacional integra, donde se enfoque en un desarrollo constante y desafié a los empleados a identificar y resolver problemas y sientan pertenencia por la organización aumentado su rendimiento y por ende se vea reflejado en los costos y equipos.

De esta manera se generó las hojas de ruta optimizadas para los planes de mantenimiento de los compresores de aire, secadores de aire, bombas exportadores y bombas de químico y la instrumentación asociada. Esta hoja de ruta involucra cada una de las tareas, tiempos de ejecución por tarea, repuestos asignados, cantidad de personas, frecuencia y tipo de manteniendo, detallado a continuación:

7.1 HOJA DE RUTA SECADOR DE AIRE (VE)

La hoja de ruta VE5 de 7 días, contiene 12 actividades de mantenimiento, en el siguiente figura se muestra la distribución de las acciones tomadas después de los talleres de PMO para las operaciones descritas en la hoja de ruta actual.

Figura 23. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta (VE5)



Fuente: El Autor

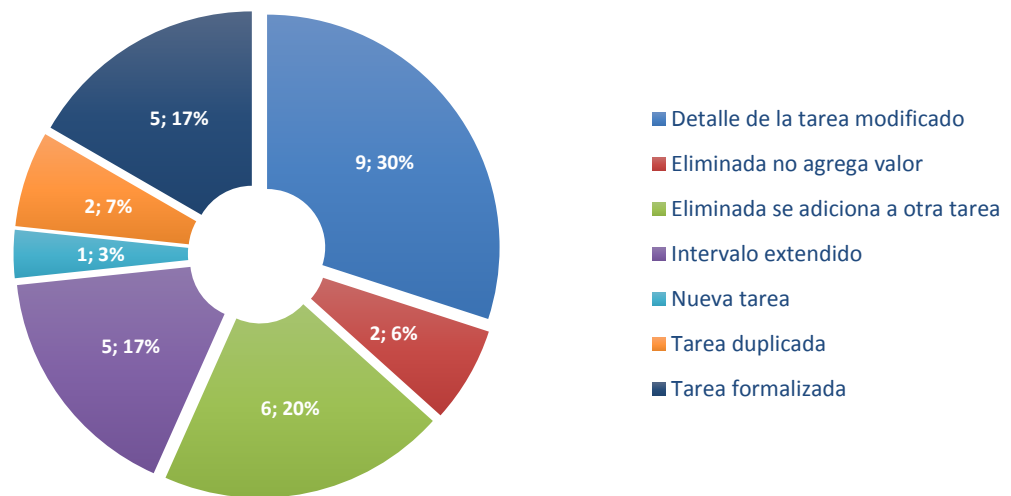
Del total de tareas estipuladas en esta hoja de ruta VE 5 se identificaron que estas son actividades de inspección las actuales no son intrusivas y que según el manual del fabricante deberían ser realizadas semanalmente, es decir deberían estar siendo ejecutadas dentro de un rutina básica de cuidado de equipos, al revisar también las tareas de inspección que ejecutan los operadores en campo, estas ya están dentro de sus rutinas diarias, actividades como verificar el funcionamiento operativo de los drenajes y realizar purgas con la finalidad de detectar fallas.

Por lo descrito anteriormente y la baja tasa de fallas sobre los secadores se decide que lo más apropiado es cambiar el puesto de trabajo de esta hoja de ruta a operaciones, esto también beneficiaría en la reducción de los costos logísticos y la distribución de horas hombre en actividades de mayor relevancia.

Las tres tareas eliminadas son adicionadas a la tarea principal, una tarea se formaliza que es la notificación de horas en transporte.

La hoja de ruta VE 6 de 3 meses, contiene 29 actividades de mantenimiento, en la figura 24 se muestra la distribución de las acciones tomadas después de los talleres de PMO para las operaciones descritas en la hoja de ruta actual.

Figura 24. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VE 6



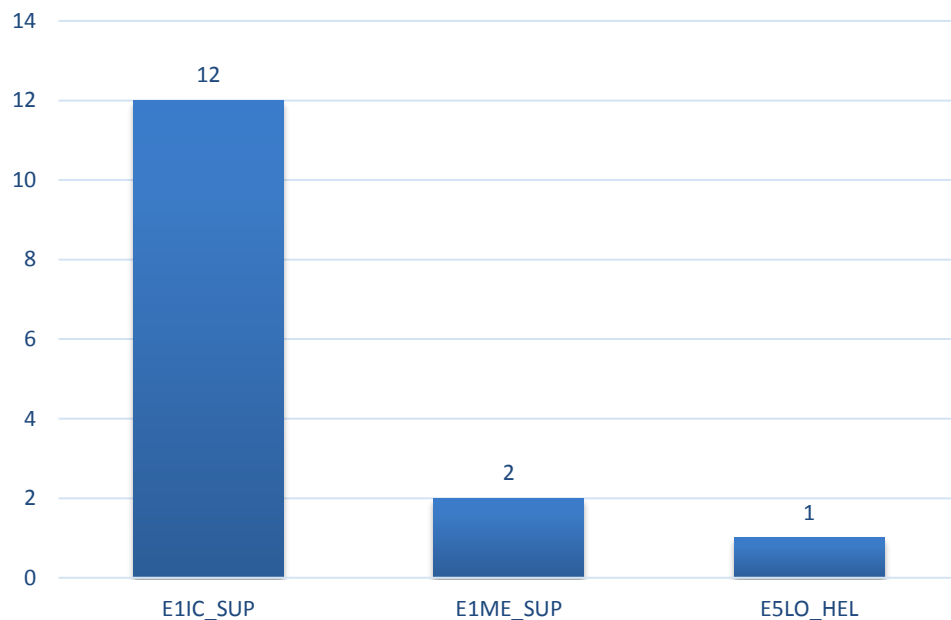
Fuente: El Autor

Se modificó las descripciones de las actividades de mantenimiento a nueve tareas, (30%) esto con la finalidad de dar mayor comprensión a los técnicos de los trabajos que se debe ejecutar en campo, se formalizaron cinco tareas (17%) las cuales quedaron descritas tal como está en su plan de mantenimiento actual y bajo su misma frecuencia, se eliminaron dos tareas (6%) por estar duplicadas lo quiere decir que atacaban un mismo modo de falla, se dejó la tarea que mejor descripción y la que mitigaba en mayor probabilidad el modo de falla, cinco de las tareas (17%) previstas en la hoja de ruta se ampliaron su intervalo de ejecución ya que los modos de falla prevenibles con estas actividades solo se han desarrollado en dos ocasiones durante los 891 días análisis, seis tareas (20%) se adicionaron a otra

tarea para fortalecer la descripción de la actividad, tres actividades el 10% se eliminan por que no agregan valor ya que son indicaciones o títulos.

Después del análisis de esta hoja de ruta, se consolidaron quince actividades distribuidas entre las especialidades de mantenimiento mecánico e instrumentación (Figura 25), para cada una de las especialidades está contemplada la operación de notificación de horas, por lo tanto actividades netas de ejecución de mantenimiento son doce.

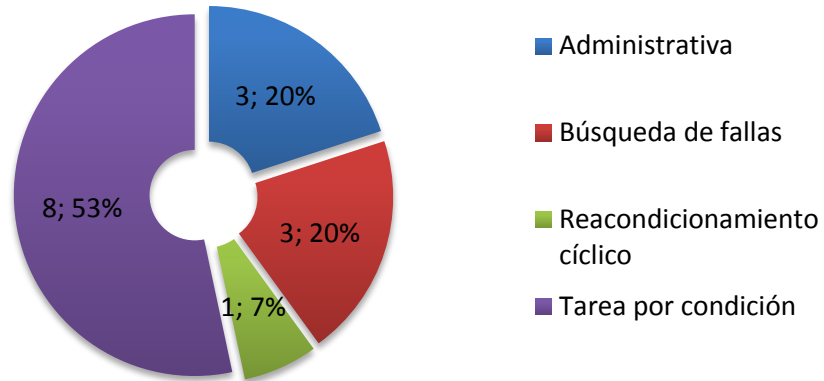
Figura 25. Distribución de Actividades por Especialidad



Fuente: El Autor

De las 15 actividades de mantenimiento definidas para esta hoja de ruta, el 53% son tareas por condición para evaluar el estado del equipo, el 20% son búsqueda de fallas, una tarea para realizar reacondicionamiento del equipo y tres tareas administrativas para la notificación de horas por los ejecutores de mantenimiento.

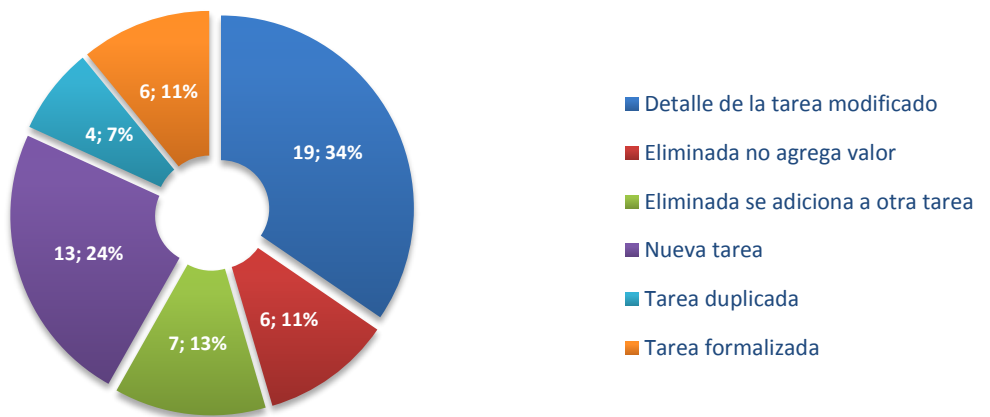
Figura 26. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta VE 6



Fuente: El Autor

La hoja de ruta VE 8 de un año, está conformada por 42 tareas de mantenimiento, en la figura 27 se muestra la distribución de las acciones tomadas después del proceso de optimización.

Figura 27. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VE 8



Fuente: El Autor

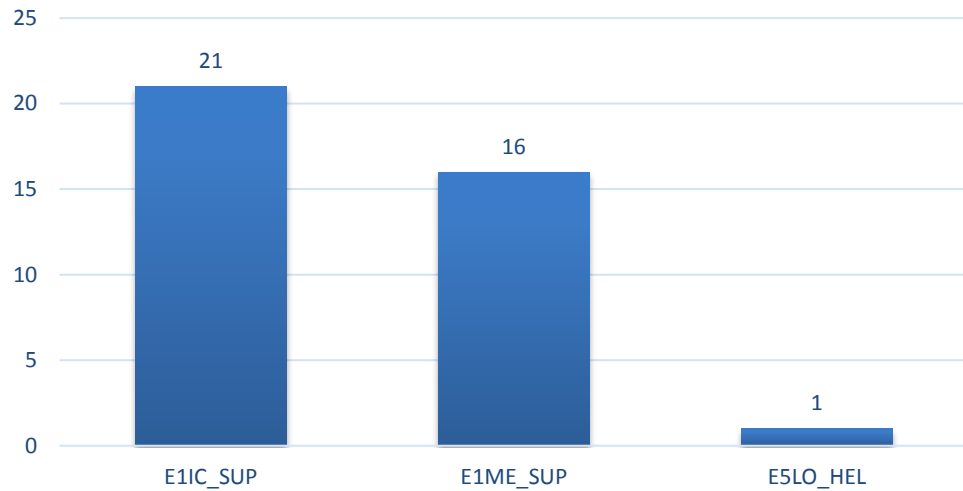
De las cuarenta y dos tareas originales de la hoja de ruta se modificaron las descripciones de 19 actividades de mantenimiento, este trabajo fue desarrollado en conjunto con los técnicos ejecutores de los mantenimientos, lo que permite que estas descripciones estén alineadas a sus conceptos y de esta forma se puedan ejecutar complemente, se adicionaron doce tareas de mantenimiento para cubrir modos de falla que se han venido presentando y se adicionaron tareas que los técnicos realizaban pero que nos estaban documentadas en la hoja de ruta.

Siete tareas fueron adicionadas a otra actividad para complementar la descripción de una sola y así tener una descripción completa del trabajo que se tiene que realizar, cuatro tareas se identificaron como duplicadas, ya que son tareas que eliminaban el mismo modo de falla, por tanto se decidió dejar la tarea más completa, de fácil comprensión y que mitigara el modo de falla.

Se formalizaron cinco tareas, las cuales se dejaron con la misma descripción y frecuencia que en la hoja de ruta actual, siete tareas fueron eliminadas por estar relacionadas con títulos que no dan una descripción clara de una actividad de mantenimiento, también se realizó esta acción para tareas que son ejecutadas directamente por personal de operaciones dentro de sus maniobras para comprobar el funcionamiento del equipo.

Al finalizar el proceso de optimización sobre esta hoja de ruta, se consolidaron 38 actividades distribuidas entre las especialidades de mantenimiento mecánico e instrumentación (Figura 28), para cada una de las especialidades está contemplada la operación de notificación de horas, por lo tanto actividades netas de ejecución de mantenimiento son treintaicinco.

Figura 28. Distribución de Actividades por Especialidad



Fuente: El Autor

De las 38 actividades de mantenimiento definidas para esta hoja de ruta, el 34% son tareas reacondicionamiento cíclico esto debido al alcance que tiene esta intervención anual, 9 son de búsqueda de falla, 7 son sustituciones cíclicas de elementos obligatorios de recambio definidos por el fabricante, 6 son tareas para establecer la condición o inspecciones y tres tareas administrativas para la notificación de horas por los ejecutores de mantenimiento.

Figura 29. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta VE 8

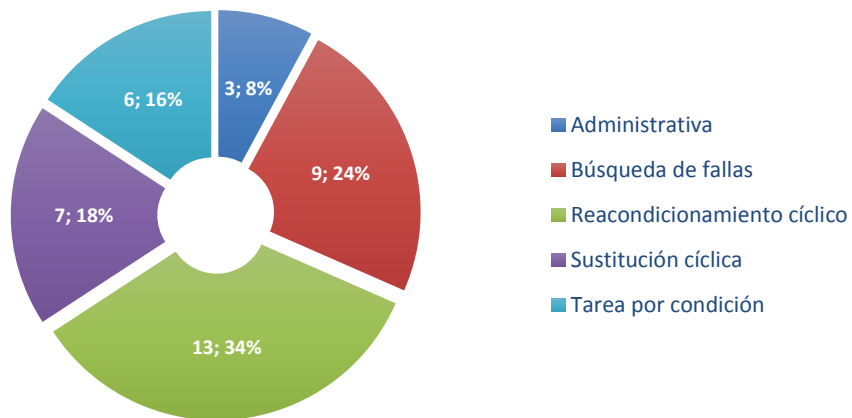


Tabla 17. Resumen General de Hojas de Ruta Asociadas a Secadores de Aire

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de Tareas HR	Personal	Tiempo Efectivo de Ejecución
VE 5	7 días	9	1 Operador	17 min
VE 6	3 meses	15	2 Mecánicos 2 Instrumentistas	175 min
VE 8	1 año	38	2 Mecánicos 2 Instrumentistas	665 min

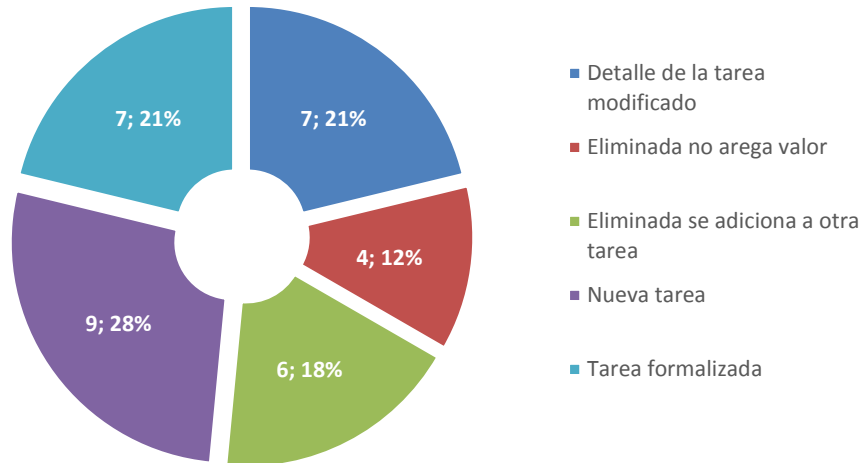
Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. (PMO_DP_VE_5_6_8_Rev_1_VFAire) se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas en el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

7.2 HOJAS DE RUTA DE COMPRESORES DE AIRE (CO)

La hoja de ruta CO-42 del plan de mantenimiento de 3 meses, el cual estipula 24 actividades de mantenimiento en una frecuencia mensual, la cual refiere tareas que en su mayoría son inspecciones, se realizó el proceso de optimización y el resultado se resume en el siguiente figura.

Figura 30. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta CO 42



Fuente: El Autor

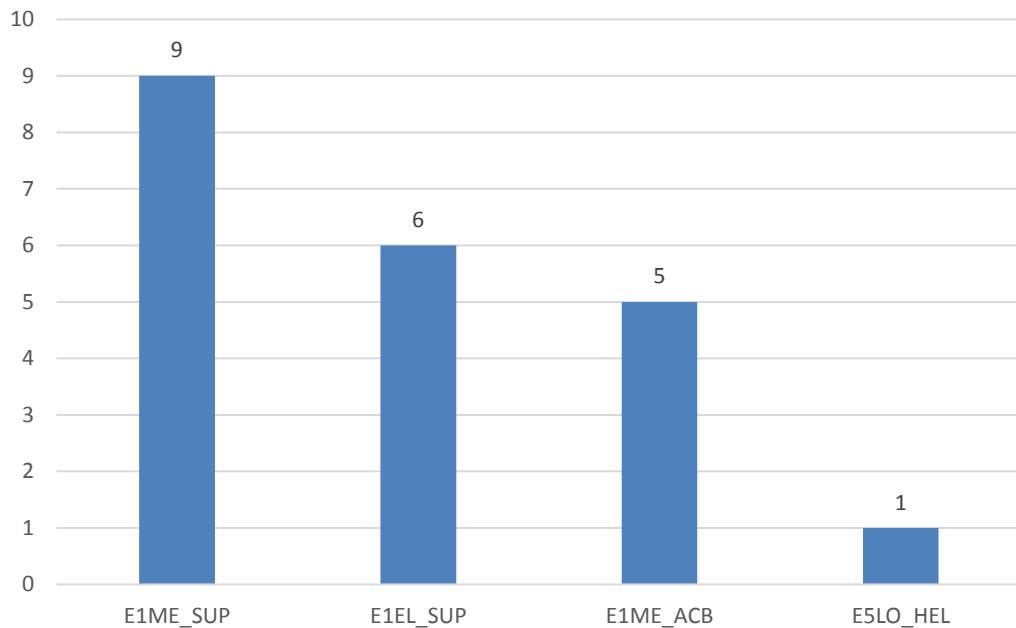
Se modificaron las descripciones de las actividades de mantenimiento a siete tareas, (21%) con el objetivo de que su alcance fuera claro para el técnico ejecutor y así se pueda mitigar realmente el modo de falla por el cual se realiza la actividad, se crearon nueve tareas (28%), las cuales están direccionadas para la realización de inspección de las válvulas y tuberías, aumentar el alcance del trabajo que se debe realizar en los motores eléctricos del compresor y vincular las técnicas predictivas de vibraciones y termografía para la identificación temprana de modos de falla.

También se realizaron la unión de tareas para dar mayor claridad al trabajo que debe realizar el técnico mecánico, dentro del proceso de optimización de la hoja de ruta se decidió ampliar su intervalo de ejecución, ya que los tiempo medio entre falla que se han presentado durante los 891 días análisis, es de 4.6 meses; la nueva frecuencia de ejecución es de 3 meses, tiempo conservador para realizar las tareas

preventivas que realmente se deben hacer y que hacen sinergia con las técnicas predictivas de análisis de aceite, vibraciones e inspección termografía.

Después del análisis de esta hoja de ruta, se consolidaron 21 actividades, 15 de mantenimiento preventivo, 3 predictivas y 3 administrativas (Cargue de horas en SAP). La distribución de actividades por especialidad ejecutora es la siguiente.

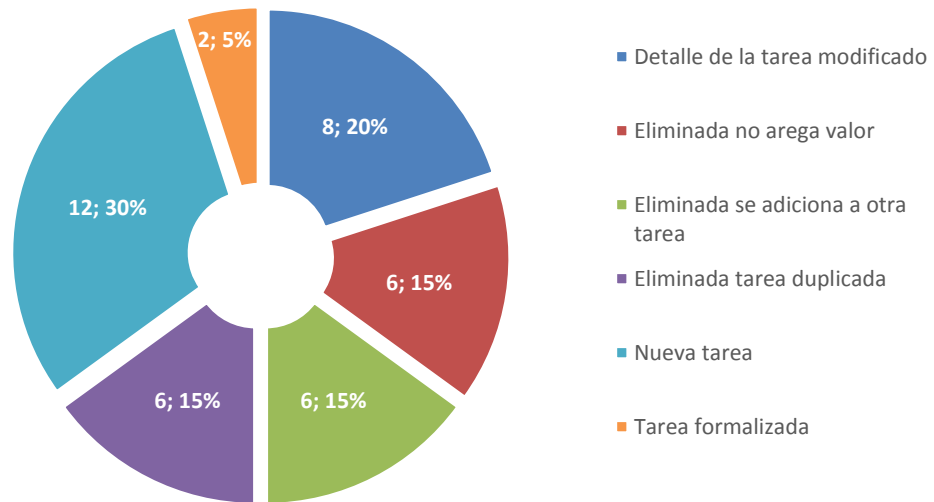
Figura 31. Distribución de Actividades por Especialidad



Fuente: El Autor

La hoja de ruta CO 43 está conformada por 28 tareas de mantenimiento, que fueron analizadas mediante la metodología PMO y de la cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 32. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta CO 43

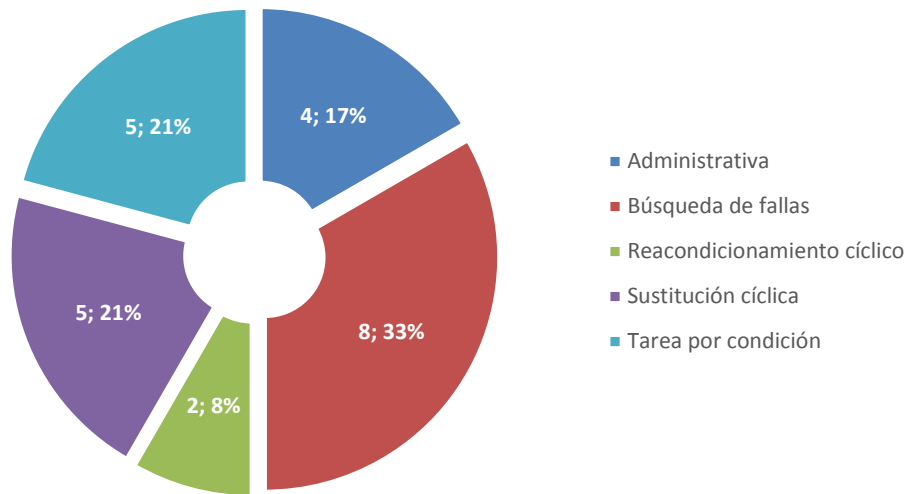


Fuente: El Autor

Se modificaron las descripciones del 20% de las actividades de mantenimiento, uniéndolas con tareas que proporcionaban una mejor descripción de lo que se debería realizar o con la finalidad de dar mayor claridad al trabajo que debe realizar el técnico ejecutor. Se adicionaron 12 tareas nuevas las cuales están direccionadas a al mantenimiento preventivo eléctrico y a la inclusión de las técnicas predictivas.

Al finalizar el PMO sobre esta hoja de ruta, se definieron 24 actividades de mantenimiento distribuidas entre las especialidades de mantenimiento mecánico, eléctrico, CBM e instrumentación (figura 33), el 33% son tareas búsqueda de fallas como los son las mediciones a los motores eléctricos, 5 tareas de sustitución cíclica como cambios de filtros, 5 tareas por condición que en su mayoría son al aplicación de técnicas predictivas para establecer la condición integral de los paquete compresor y tareas administrativas para la notificación de horas por los ejecutores de mantenimiento.

Figura 33. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta CO 43



Fuente: El Autor

Tabla 18. Resumen General de Hojas de Ruta asociadas a compresores de aire

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo Efectivo de Ejecución*
CO 42	3 meses	21	1 Mecánicos 1 Electricista 1 CBM	305 min
CO 43	1 año	24	2 Mecánicos 1 Instrumentistas 1 Electricista 1 CBM	405 min

*Tiempo total efectivo para ejecutar la tarea por equipo

NOTA: En el Anexo B. (PMO_DP_CO_42_ compresor aire V3) se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas en el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

7.3 HOJAS DE RUTA DE LA INSTRUMENTACIÓN

Esta hoja de ruta está vinculada para todas las PCV de la locación sin diferenciar el modelo, dentro del proceso de optimización se están dejando los planes de mantenimiento con las tareas específicas para cada modelo de PCV, las cuales tienen sus respectivos SETs de calibración, torques de sujeción y materiales.

7.3.1 PCV Modelo 95H (Sistema de aire)

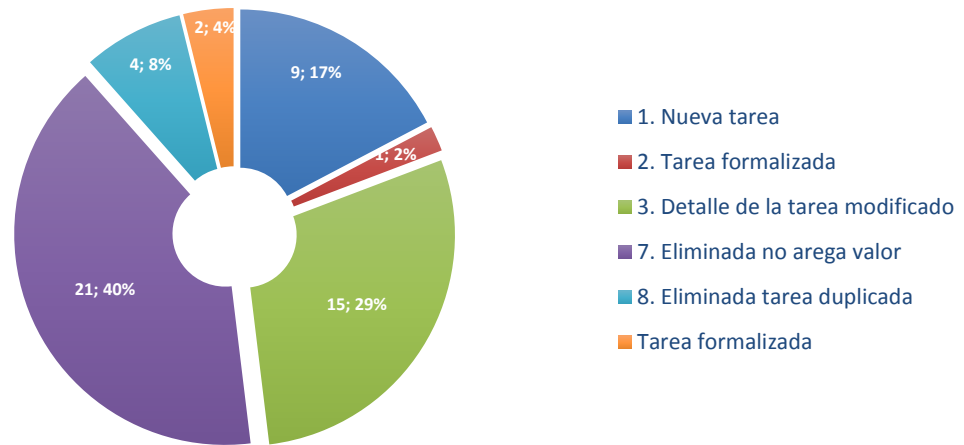
La hoja de ruta VA 24 (PCV) establece 43 actividades de mantenimiento, en la figura 35 se muestra la distribución de las acciones tomadas después de la revisión de los planes de mantenimiento.

Figura 34. Instrumentación C3



Fuente: El Autor

Figura 35. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VE 24 95H



Fuente: El Autor

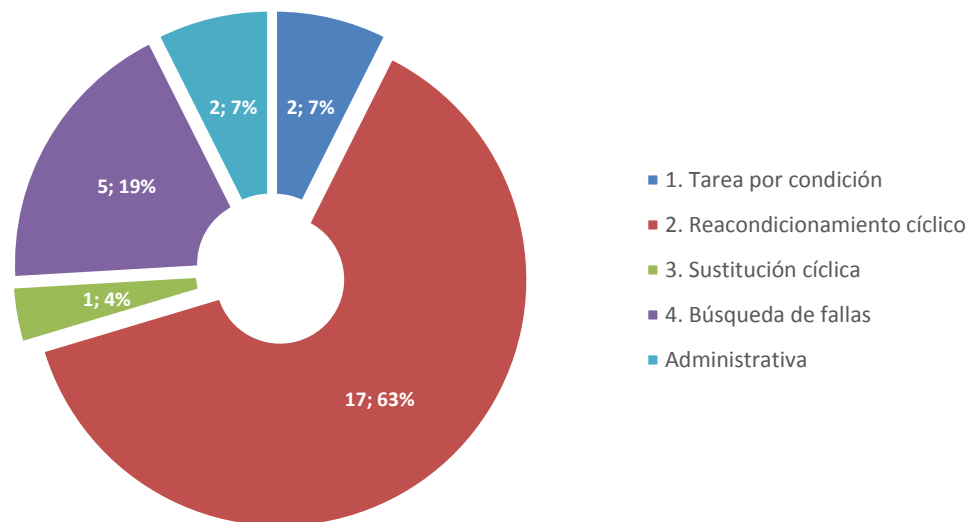
De las tareas establecidas en la hoja de ruta VE 24 para las válvulas de control de presión, 15 tareas fueron modificadas para mejorar sus descripciones o complementarlas con otras tareas, esto permitirá que el técnico tenga una descripción precisa de lo que debe realizar y así se pueda mitigar la ocurrencia de modos de falla. Veintiuna de las actividades (40%) se eliminan por que no agregan valor para la hoja de ruta ya que estas actividades no aplican para el modelo 95H, dentro estas actividades también se encuentran algunas actividades que son títulos o referencias.

Nueve actividades son nuevas, estas se incluyen para especificar tareas propias de la PCV y así evitar que se realicen actividades que no tienen el alcance específico para este tipo válvulas, se eliminaron cuatro tareas por estar duplicadas, en este se dejó la tarea con mayor probabilidad de mitigar la ocurrencia de los modos de falla. Dos tareas se formalizaron tal cual estaban establecidas en la hoja de ruta original.

Las actividades consolidadas al final del análisis de optimización son 27, las cuales son ejecutadas en su totalidad por la especialidad de instrumentación. Al ser un plan

de mantenimiento anual, la mayor cantidad de tareas que han quedado estipuladas son de reacondicionamiento para así realizar limpiezas e inspecciones sobre los componentes internos de la válvula.

Figura 36. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta VE 24



Fuente: El Autor

7.3.1.1 Resumen General VE 24, Pressure Control Valve (PCV)

Tal como se especificó anteriormente para la PCV modelo 85L, también se realizaron los procesos de optimización para los otros tipos de válvulas los cuales se detallan en forma resumida a continuación, las hojas de ruta definidas finalmente se pueden ver en mayor profundidad en los anexos. (Se recomienda crear hojas de ruta individuales tal como se estableció después del proceso de optimización)

Tabla 19. Resumen General PCV Modelo 95H (Sistema de aire)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VE 24 Modificar	1 año	27	2 Instrumentistas	180 min

*Tiempo total efectivo para ejecutar la tarea por equipo

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_VA_24_PCV_Rev_2_VF (85L) se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas en el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

Tabla 20. Resumen General PCV Modelo Fisher 95L

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VE 24 Modificar	1 año	27	2 Instrumentistas	180 min

*Tiempo total efectivo para ejecutar la tarea por equipo

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_VA_24_PCV_V2_(Fisher, Series 95L) se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas en el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

Tabla 21. Resumen General PCV Modelo (Fisher 627)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VE 24 Modificar	1 año	27	2 Instrumentistas	180 min

*Tiempo total efectivo para ejecutar la tarea por equipo

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_VA_24_PCV_(Fisher 627) se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas en el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

Tabla 22. Resumen General PCV Modelo (Fisher D4)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VE 24 Modificar	1 año	200	2 Instrumentistas	210

*Tiempo total efectivo para ejecutar la tarea por equipo

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_VA_24_PCV_ (Fisher D4) se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas en el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

Tabla 23. Resumen General PCV Modelo (Fisher 630)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VE 24 Modificar	1 año			

*Tiempo total efectivo para ejecutar la tarea por equipo

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_VA_24_PCV_ (Fisher 630) se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas en el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

7.3.2 Hoja de Ruta IP 68 Transmisores de Presión Diferencial y de Flujo

La hoja de ruta IP 68 establece 18 actividades de mantenimiento, esta hoja de ruta aplica para transmisores de presión, nivel, flujo y presión diferencial.

Al tener esta hoja de ruta diferentes tipos de instrumentos no se está teniendo en cuenta:

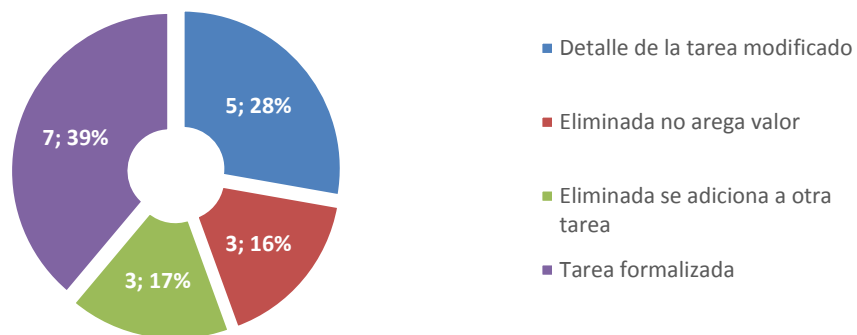
- Marca de los instrumentos.
- Modelos de instrumentos.
- Sistema en el que son utilizados.
- Método de calibración.
- Protocolo de comunicación.

Para generar hojas de ruta que se ajusten a cada uno de los instrumentos dentro del proceso de optimización, se decidió individualizar por tipo de instrumento, para evitar que el técnico instrumentista llegue a cometer algún tipo de error en la ejecución del mantenimiento o lleguen a ignorar el contenido de la hoja de ruta por que no aplica para el instrumento que tienen que intervenir.

✓ Transmisores de Presión (Comunicación Fieldbus)

En el figura 37 se observan las acciones que se tomaron dentro del proceso de optimización de las tareas establecidas en la hoja de ruta actual.

Figura 37. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta IP 68



Fuente: El Autor

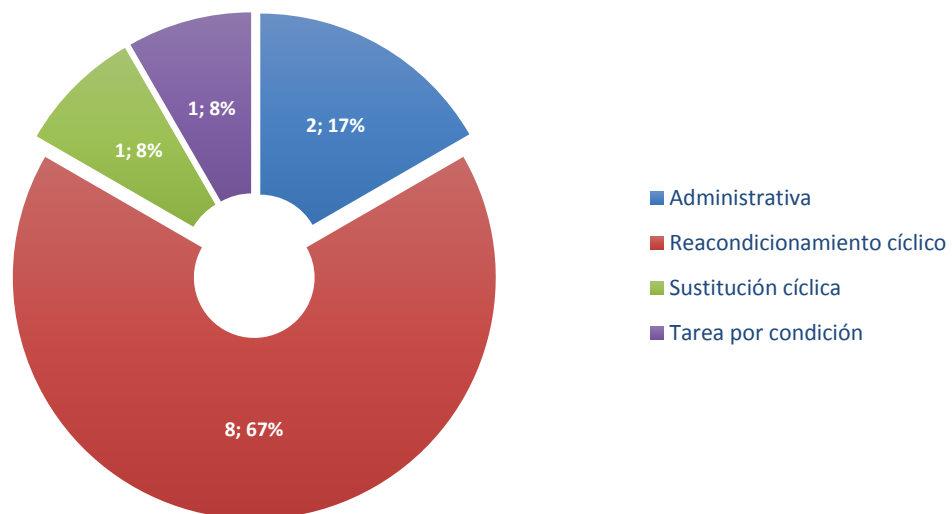
El 39% de las tareas (7) se formalizaron tal como están descritas en el plan de mantenimiento, estas actividades previenen la ocurrencia específica de cualquier modo de falla y su descripción es clara y comprensible para el personal ejecutor.

El 28% (5) se modificaron las descripciones de las actividades vinculándolas a otras tareas o con nuevas descripciones de tal forma que sean comprensibles para el ejecutor y así se puedan prevenir la ocurrencia de modos de fallas.

Se eliminaron 6 tareas 3 de ellas por que no agregan valor en su descripción son títulos y otras 3 que se adicionaron a una tarea ya existente para optimizar su descripción.

Al final del proceso de optimización la hoja de ruta queda estipulada con 12 actividades, las cuales son ejecutadas en su totalidad por personal de instrumentación. Al ser un plan de mantenimiento que se ejecuta cada dos años la proporción más alta de tareas son las de reacondicionamiento del equipo, estas son verificaciones, limpiezas y aseguramiento físicos de funcionamiento antes de tomar la decisión de realizar cambios.

Figura 38. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta IP 68



Fuente: El Autor

7.3.2.1 Resumen General IP 68 Transmisores de Presión

Para esta hoja de ruta se realizaron las optimizaciones identificando el tipo de función, marca, modelo y tipo de comunicación del transmisor, las hojas de ruta definidas finalmente se pueden ver en mayor profundidad en los anexos. (Se recomienda crear hojas de ruta individuales tal como se estableció después del proceso de optimización)

Tabla 24. Transmisores de Presión (Comunicación Fieldbus)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
IP 68 (Modificar)	2 años	12	1 Instrumentistas	125 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

NOTA: En el AnexoB. PMO_DP_IP_68_Transmisores de presión_Rev_1_VF (Comunicación fieldbus) se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado

Tabla 25. Transmisores de Nivel Diferencial REOSEMOUNT

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
IP 68 (Modificar)	2 años	14	2 Instrumentistas	110 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

NOTA: En el AnexoB. PMO_DP_IP_68_transmisor_nivel_ROSEMOUNT DIFERENCIAL_VF se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado

Tabla 26. Transmisores de Nivel VEGA

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
IP 68 (Modificar)	2 años	11	2 Instrumentistas	125 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

NOTA: En el AnexoB. PMO_DP_IP_68_transmisor_nivel_VEGA se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado

Tabla 27. Transmisores de Nivel Remotos

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
IP 68 (Modificar)	2 años	13	2 Instrumentistas	160 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

NOTA: En el AnexoB. PMO_DP_IP_68_transmisor_nivel_Sellos_Remotos se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

Tabla 28. Transmisores de Presión Diferencial Rosemount

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
DP_IP 68 (Modificar)	2 Años	16	2 Instrumentistas	125 min

*Tiempo efectivo por instrumento

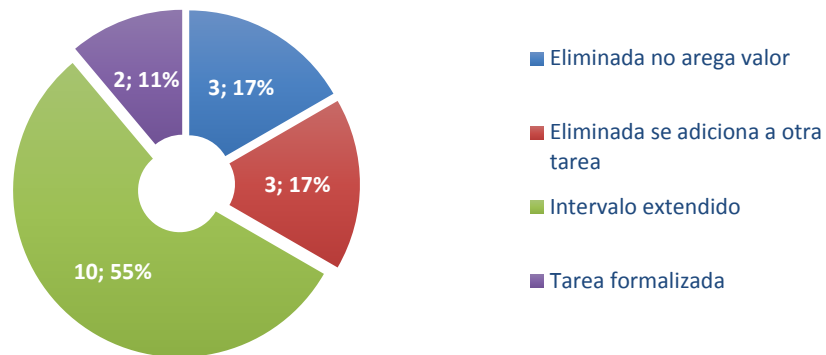
Fuente: El Autor

NOTA: *En el Anexo B. PMO_DP_IP_68_Transmisores_Diferenciales_fuel_gas_filter_Rosemount se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.*

7.3.3 Hoja de Ruta IP 70 (1A PMO Transmisor Nivel/Presión Hart)

La hoja de ruta IP 70 (1A PMO Transmisor Nivel/Presión Hart) tiene documentadas 18 operaciones, en el figura 24 se observan las acciones que se tomaron dentro del proceso de optimización.

Figura 39. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta IP 70



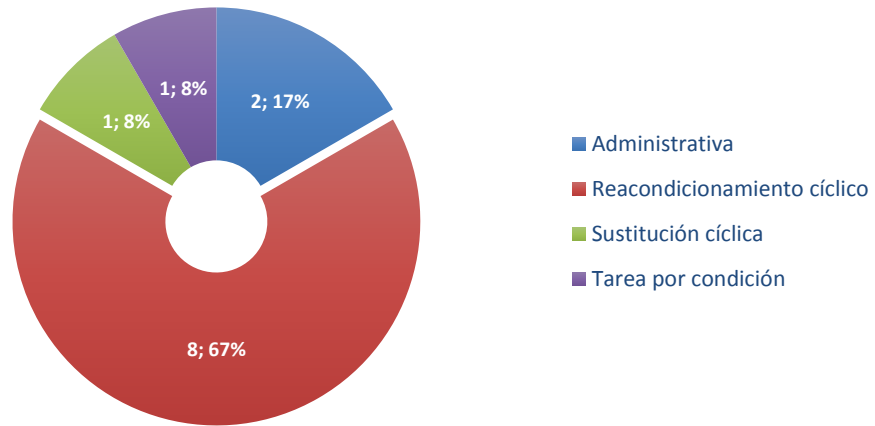
Fuente: El Autor

Para esta hoja de ruta se realizó una revisión del historial de falla de los instrumentos que venían siendo intervenidos con estas actividades de mantenimiento, el resultado es que no se tiene fallas asociadas a este tipo de equipos, el único aviso registrado es por un cambio de manifold, analizando esta información entre confiabilidad, supervisor y técnicos instrumentista, se decide que realizar la intervención sobre estos instrumentos en una frecuencia de dos años, tal como se hace con la IP 68 es la mejor decisión técnica y económica.

La descripción de las actividades de mantenimiento se modificaron para dar una comprensión acertada de lo que tiene que realizar los ejecutores.

Las actividades de mantenimiento de esta hoja de ruta son realizadas por personal de instrumentación. De las 12 tareas de mantenimiento que se tienen establecidas, 2 son administrativas (Notificación de horas) y 10 son intrusivas sobre el instrumento, estas corresponden a actividades de verificación, aseguramiento de conexiones y calibración. Solo se establece una tarea sustitución cíclica para el cambio de fittings, manifolds y accesorios corroídos.

Figura 40. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta IP 70



Fuente: El Autor

7.3.3.1 Resumen General de IP 70 Transmisor Nivel/Presión Hart)

Tabla 29. Transmisor Nivel/Presión (Comunicación Hart)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución
IP 70	2 años	12	1 Instrumentistas	125 min

Fuente: El Autor

NOTA: En el AnexoB. DP_IP_70_Transmisores de presión_Rev_2_VF (Comunicación Hart) se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

7.3.4 Hoja de Ruta VA 26 Válvulas de Seguridad

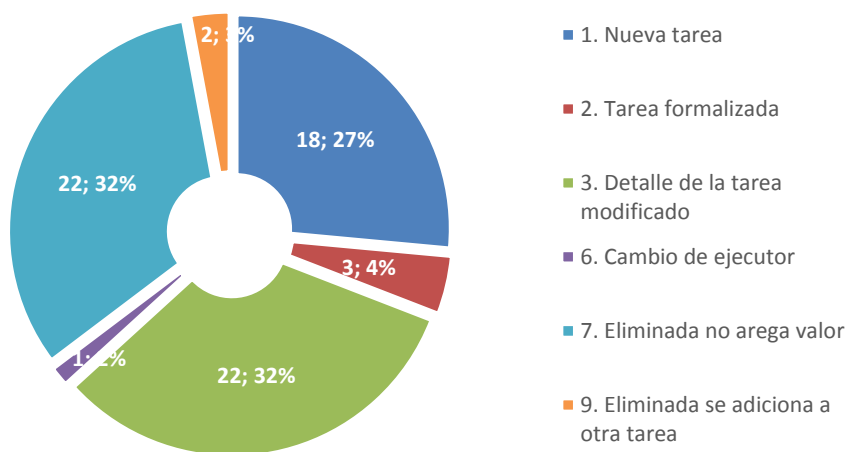
La hoja de ruta VA 26 (1A-PMO Válvulas de seguridad) tiene 51 actividades de mantenimiento, esta hoja de ruta esta direccionado para todas las válvulas de seguridad de la locación. Esta hoja de ruta no tiene en cuenta las diferentes posibilidades que se pueden tener las válvulas como: maraca, modelo, torques, set de calibración.

Por esta razón se han individualizado las PSV de tal forma que cada una de ellas tenga las tareas adecuadas, con los valores técnicos establecidos y los repuestos apropiados que se deben utilizar para la ejecución de cada mantenimiento.

7.3.4.1 PSV Sistema de Aire

En el figura 26 se observan las acciones que se tomaron dentro del proceso de optimización de las tareas establecidas en la hoja de ruta VA_26.

Figura 41. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VA_26



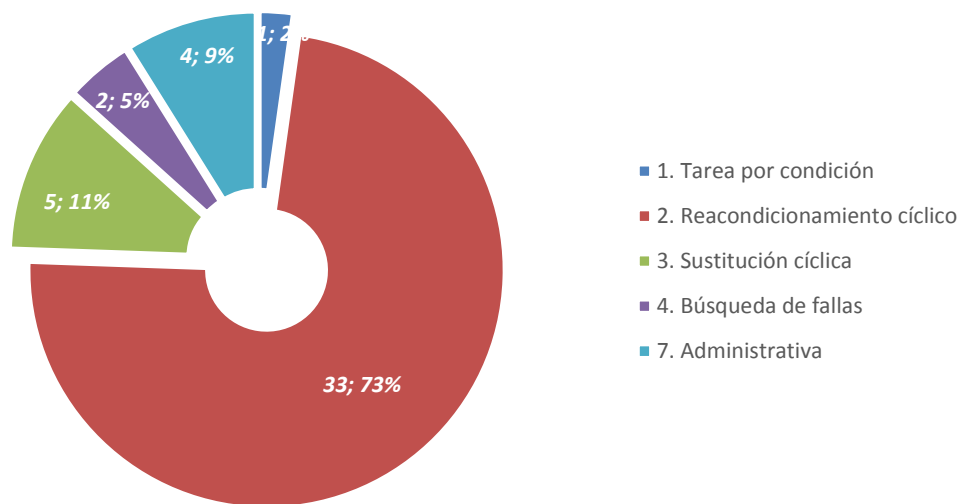
Fuente: El Autor

Al 32% de las tareas se les modifiko la redacción y contenido dando claridad a lo que se debe hacer para cada tipo de válvula, evitando que se lleguen a cometer

errores por la descripción actual que tiene el plan de mantenimiento, las atareas eliminadas y descritas como no agregan valor son algunas que no aplican para este tipo de PSV o son títulos a los cuales el técnico ejecutor no presta atención.

Al final del proceso de optimización para este tipo de válvulas son 45 actividades las que se deben ejecutar por personal de instrumentación y la actividad de pintado que debe ejecutar servicios generales. Al ser un plan de mantenimiento que se ejecuta cada dos años la proporción más alta de tareas son las de reacondicionamiento del equipo, estas son verificaciones, limpiezas y aseguramiento físicos de funcionamiento antes de tomar la decisión de realizar cambios.

Figura 42. Tipos de Tareas Definidas para la hoja de Ruta VA 26



Fuente: El Autor

7.3.4.2 Resumen General VA 26 Válvulas de Seguridad

Para este tipo de válvulas se realizó la optimización de la hoja de ruta identificando el tipo de función, marca, modelo; las hojas de ruta definidas finalmente se pueden

ver en mayor profundidad en los anexos. (Se recomienda crear hojas de ruta individuales tal como se estableció después del proceso de optimización).

Tabla 30. PSV (Válvulas de Seguridad Sistema de Aire)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VA 26 (Modificar)	1 año	45	2 Instrumentistas 1 SSGG	420 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. *PMO_DP_VA_26_PSV_air_system_cash-3_Rev_2* se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

Tabla 31. PSV (Válvulas de Seguridad Chemical Injection)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VA 26 (Modificar)	1 años	38	2 Instrumentistas	315 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. *PMO_DP_VA_26_PSV_chemical_inj_rev_0* se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

Tabla 32. PSV (Válvulas de seguridad Flare System)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VA 26 (Modificar)	1 año	38	2 Instrumentistas	355 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. *PMO_DP_VA_26_PSV_flare_system_cash-3* se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

Tabla 33. PSV (Válvula de seguridad Fuel Gas Filter)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VA 26 (Modificar)	1 año	41	2 Instrumentistas	451 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. *PMO_DP_VA_26_PSV_fuel_gas_filter* se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

Tabla 34. PSV (Válvula de Seguridad Fuel Gas Generation System)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VA 26 (Modificar)	1 año	42	2 Instrumentistas	465 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_VA26_PSV_fuel_gas_generation_system se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado

Tabla 35. PSV (Válvulas de Seguridad Flare Gas System)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VA 26 (Modificar)	1 año	42	2 Instrumentistas	440 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_VA_26_PSV_fuel_gas_system se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado

Tabla 36. PSV (Válvulas de Seguridad Pig Launcher System)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
--------------	------------	-------------------------------	----------	-------------------------------

VA 26 (Modificar)	1 año	42	2 Instrumentistas	460 min
------------------------------	-------	----	----------------------	---------

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

NOTA: *En el Anexo B. PMO_DP_VA_26_PSV_pig_luncher_system se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado*

7.3.5 VA 23 Control Valve PCS.

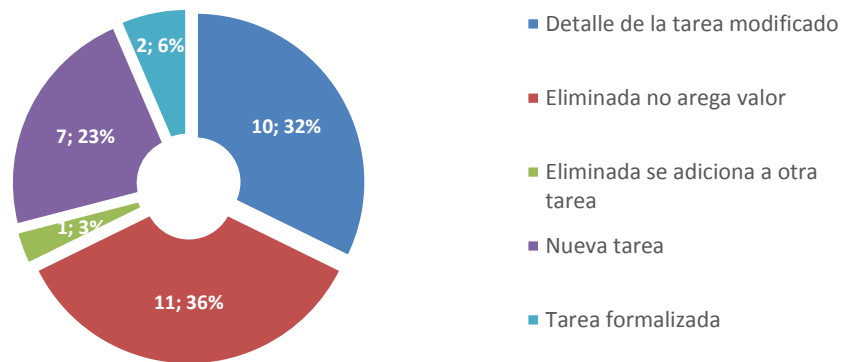
La hoja de ruta VA 23 (Control Valve (PCS)) está direccionada para ser ejecutada en válvulas de control, al revisar los tipos de válvula de control que se tienen en la locación se han encontrado diferencias en lo que se debería ejecutar y el alcance actual de la hoja de ruta.

Por esta razón se han individualizado las hojas de ruta para las válvulas de control de nivel previendo que para cada tipo de ellas se adecuen las tareas adecuadas, con los valores técnicos establecidos y los repuestos apropiados que se deben utilizar para la ejecución de cada mantenimiento.

7.3.5.1 LV Flare System.

En el figura 28 se observan las acciones que se tomaron dentro del proceso de optimización de las tareas establecidas en la hoja de ruta VA23.

Figura 43. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VA23

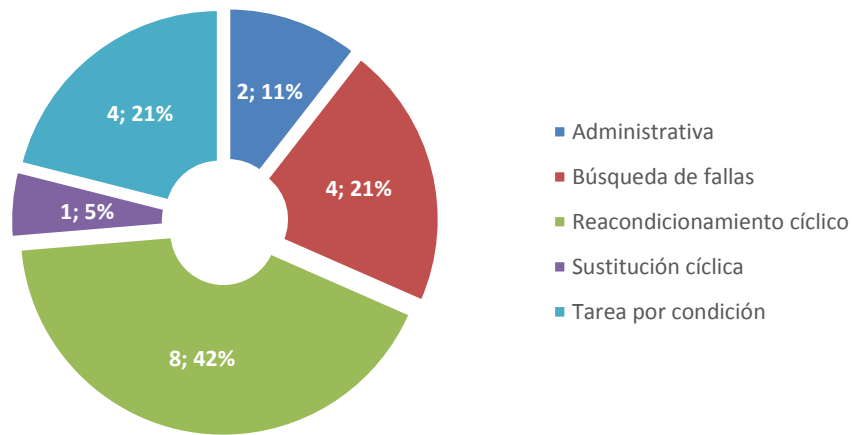


Fuente: El Autor

Al 36% de las tareas se eliminaron por que no aplican para el tipo de válvula que se debe intervenir o porque tienen referencia a títulos que en los talleres de análisis con los técnicos describieron que no les daba mayor información de lo que tenían que realizar, al 32% de las tareas originales se les realizo un cambio en el alcance de lo que debieran realizar.

La optimización de este plan de mantenimiento para las válvulas de control de nivel dejo establecidas 19 actividades las que debe ejecutar instrumentación. La gran mayoría de las tareas son reacondicionamiento de las válvulas, que son verificaciones, limpiezas y aseguramiento físicos de funcionamiento, también se encuentran los recambios necesarios de kits de reparación que garantizan durante un año el adecuado funcionamiento de las mismas.

Figura 44. Tipos de Tareas Definidas Para la Hoja de Ruta VA 23



Fuente: El Autor

7.3.5.2 Resumen General VA 23 (Control Valve (PCS))

Para este tipo de válvulas se adaptó la hoja de ruta VA 23 identificando la marca, modelo, sets de calibración y función; para definir la tareas exactas que se deben realizar para cada una de ella en los anexos están descritos los planes de mantenimiento optimizados. (Se recomienda crear hojas de ruta individuales tal como se estableció después del proceso de optimización)

Tabla 37. Válvula de Nivel (LV) (Fisher D4 2")

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VA 23 (Modificar)	1 año	19	2 Instrumentistas	210 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_VA_23_LV_flare system (Fisher D4 2in), se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado

Tabla 38. PSV (Válvulas de seguridad Flare System)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VA 26 (Modificar)	1 año	38	2 Instrumentistas	355 min

*Tiempo efectivo por instrumento

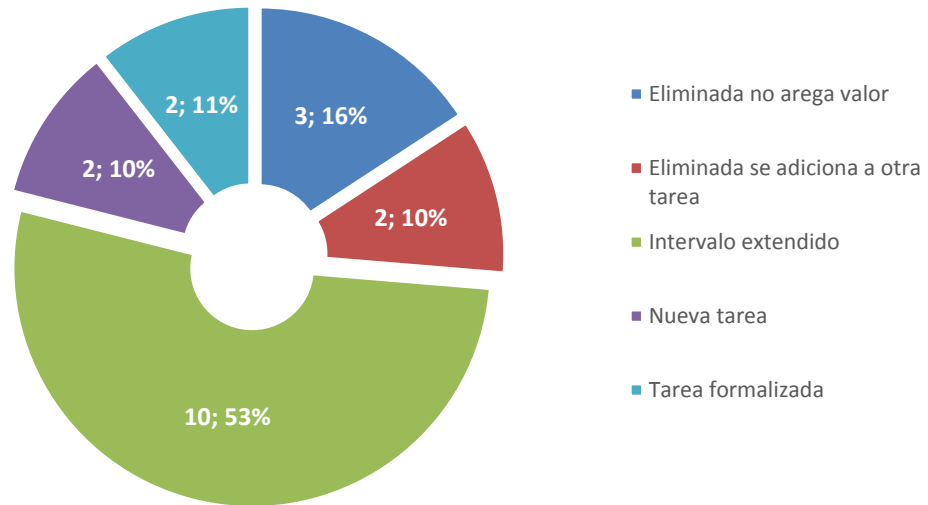
Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_VA_22_LV_fuel_gas_system (Fisher EZ), se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado

7.3.6 Hoja de Ruta IP 71 / IP 72 / IP 74 (Switches)

La hoja de ruta IP 71 (Switches) tiene asignadas 17 operaciones, en el figura 45 se observan las acciones que se tomaron dentro del proceso de optimización.

Figura 45. Estatus de las tareas analizadas Hoja de ruta IP 71



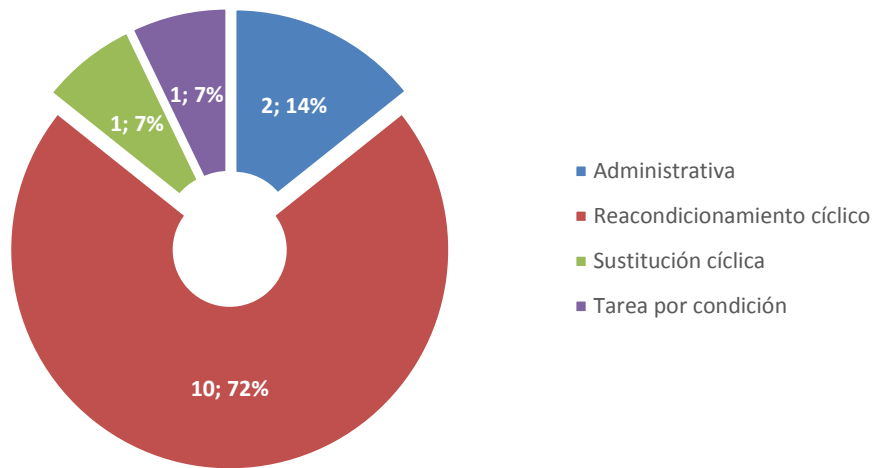
Fuente: El Autor

Para esta hoja de ruta se realizó una revisión del historial de falla de los instrumentos que venían siendo intervenidos con estas actividades de mantenimiento, el resultado es que no se tiene fallas asociadas a este tipo de equipos, analizando esta información entre confiabilidad, supervisor y técnicos instrumentista, se decide que realizar la intervención sobre estos instrumentos en una frecuencia de un año.

La descripción de las actividades de mantenimiento se modificaron para dar una comprensión acertada de lo que tiene que realizar los ejecutores.

Las actividades de mantenimiento de esta hoja de ruta son realizadas por personal de instrumentación. De las 14 tareas de mantenimiento que se tienen establecidas, 2 son administrativas (Notificación de horas) y 10 son intrusivas sobre el instrumento, estas corresponden a actividades de verificación y calibración.

Figura 46. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta IP 71.



Fuente: El Autor

7.3.6.1 Resumen General IP 71 / 72 / 74 (Switches).

Los switches de los diferentes sistemas analizados tuvieron un análisis similar al planteado anteriormente, el cambio a resaltar es que se decidieron pasar de la frecuencia semestral a frecuencia anual, tal como está establecido en planta y debido a su baja probabilidad de falla. (Se recomienda crear hojas de ruta individuales tal como se estableció después del proceso de optimización)

Tabla 39. Switch de Presión

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de Actividades Hoja de Ruta	Personal	Tiempo Efectivo de Ejecución
IP 71	1 años	12	2 Instrumentistas	135 min

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_IP_71_switch_presion_flare_system, se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado

Tabla 40. Switch de Nivel

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de Actividades Hoja de Ruta	Personal	Tiempo Efectivo de Ejecución
IP 72	1 años	16	2 Instrumentistas	230 min

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_IP_72_switches_nivel_flare_system, se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado

Tabla 41. Switch de Flujo

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución
DP_IP 74	1 años	16	2 Instrumentistas	230 min

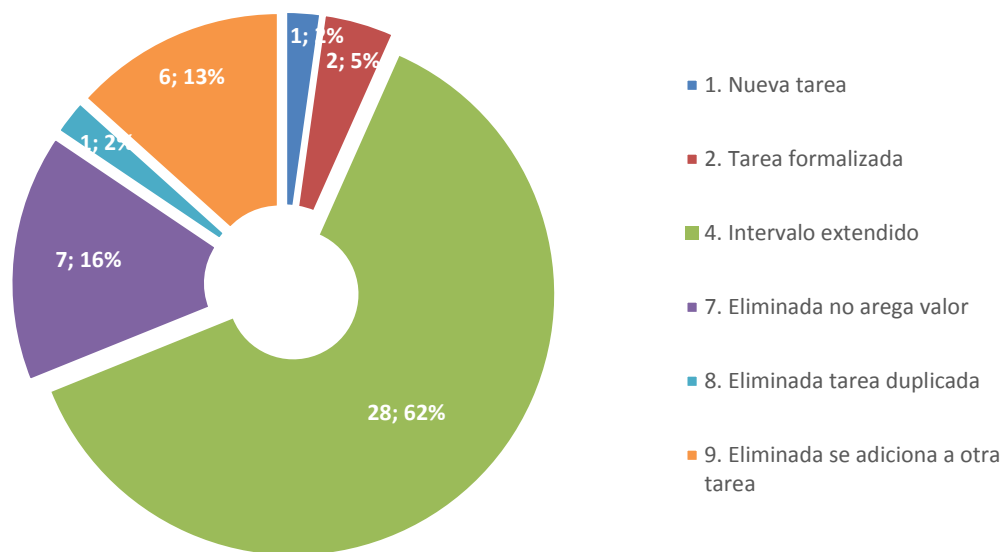
Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_IP_74_switch_flujo_chemical_inj, se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

7.3.7 Hoja de Ruta VA 69 y 70 (SDV_Flare_System)

En el figura 47 se resumen las acciones que se tomaron dentro del proceso de optimización de las tareas establecidas en las hoja de ruta VA69.

Figura 47. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VA69



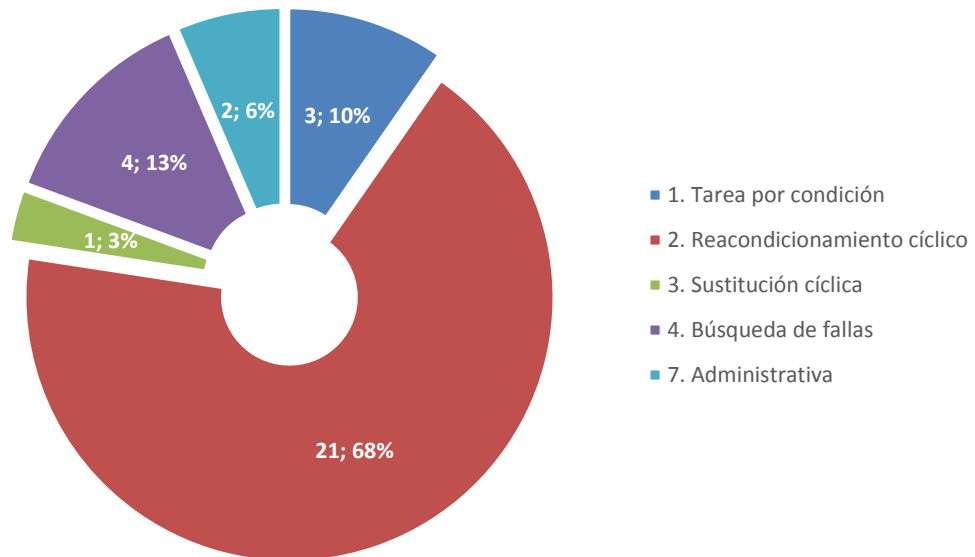
Fuente: El Autor

Al 62% de las actividades se les incremento la frecuencia de ejecución, el 13% se adicionaron a otras tareas y el 16% se eliminaron por que no agregan valor para este tipo de instrumento.

Después de la optimización para este tipo de válvula se definieron 31 actividades las que se deben ejecutar por personal de instrumentación, este plan de mantenimiento se debe ejecutar cada dos años la proporción más alta de tareas son las de reacondicionamiento del equipo, estas son verificaciones, limpiezas y

aseguramiento físicos de funcionamiento antes de tomar la decisión de realizar cambios.

Figura 48. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta VA 69



Fuente: El Autor

7.3.7.1 Resumen General VA 69 y 70 (SDV_Flare_System).

Para esta válvula se optimizaron las tareas de las hojas de ruta 69 y 70; la optimización se puede ver en mayor profundidad en los anexos. (Se recomienda crear hojas de ruta individuales tal como se estableció después del proceso de optimización)

Tabla 42. VA 69 y 70 (SDV_Flare_System)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VA 69 (Modificar)	2 años	31	2 Instrumentistas	230 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
VA 69 (Modificar)	2 años	45	2 Instrumentistas	625 min

*Tiempo efectivo por instrumento

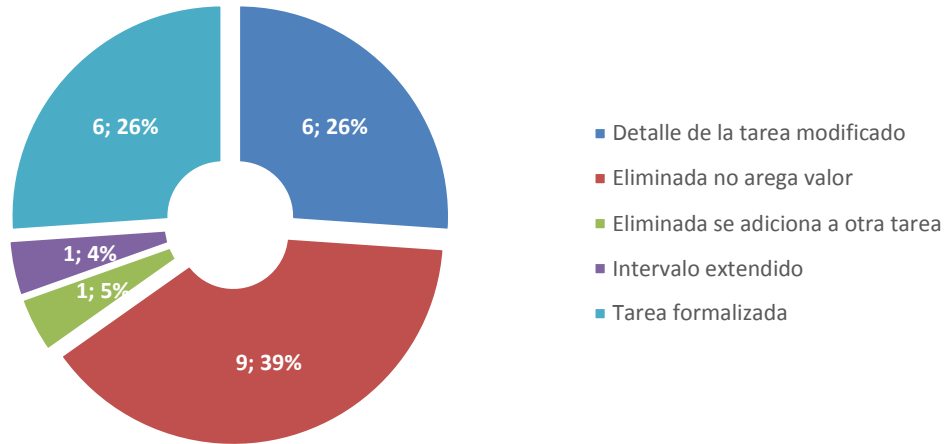
Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_VA_69_DP_y_70_SDV_flare system, se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

7.3.8 Hoja de Ruta IP1_13 y IP1_14 (Level Gauge Flare System)

El resumen de las acciones que se tomaron dentro del proceso de optimización de las tareas establecidas en la hoja de ruta DP_IP1_13, se ven reflejadas en la figura 49.

Figura 49. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta DP_IP1_13

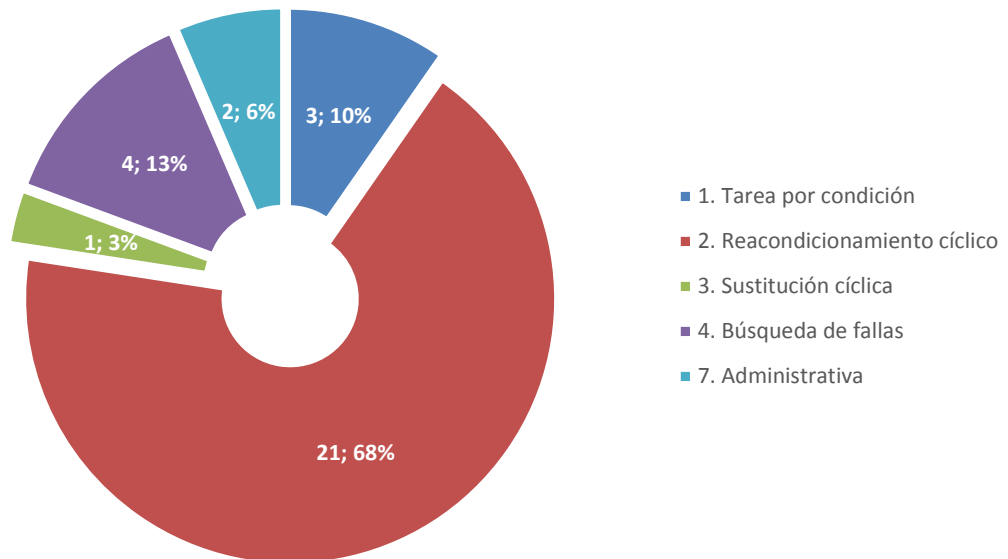


Fuente: El Autor

Al 39% de las actividades se eliminaron por que no agregan valor, son referencias que deben estar incluidas en el instructivo de mantenimiento para la actividad, el 26% de las actividades se modificaron para dar una comprensión adecuada de la actividad que se debe desarrollar.

Después de la optimización se definieron 12 actividades que deben ser ejecutadas por personal de instrumentación, este plan de mantenimiento se debe ejecutar cada dos años, la hoja de ruta DP_IP1_14, contiene las tareas a realizar cada 4 años, mantenimiento intrusivo sobre los visores.

Figura 50. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta DP_IP1_13



Fuente: El Autor

7.3.8.1 Resumen General IP1_13 y DP_IP1_14 (Level Gauge Flare System)

Resumen general de las hojas de ruta establecidas para los visores de nivel.; la optimización se puede ver en mayor profundidad en el anexo.

Tabla 43. Hoja de Ruta IP1 13 (Level Gauge Flare System)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
IP1 13 (Modificar)	2 años	12	2 Instrumentistas	60 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

Tabla 44. Hoja de Ruta IP 14 (Level Gauge Flare System)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de Actividades Hoja de Ruta	Personal	Tiempo Efectivo de Ejecución*
IP1 14 (Modificar)	4 años	16	2 Instrumentistas	425 min

*Tiempo efectivo por instrumento

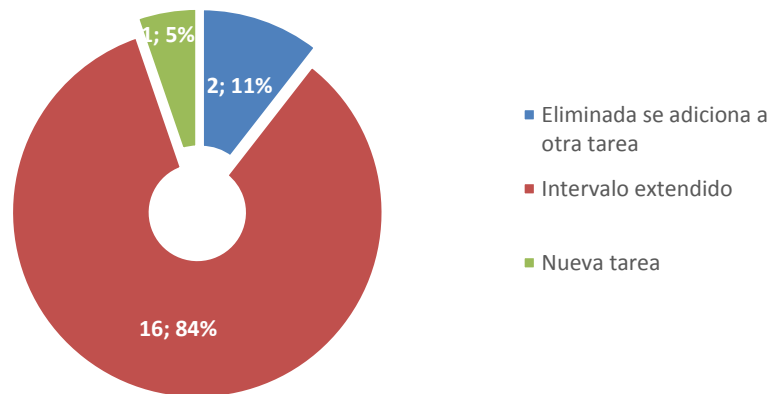
Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_IP1_13_DP_IP1_14_level_gauge_flare_system, se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

7.3.9 Hoja de Ruta MS1 Flame Arrestor 12M (PCS)

Se hace la revisión del plan de mantenimiento para el Flame Arrestor, de este proceso de optimización sobre la hoja de ruta DP_MS_1, se realizaron varias modificaciones las cuales se resumen en la figura 51.

Figura 51. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta DP_MS_1

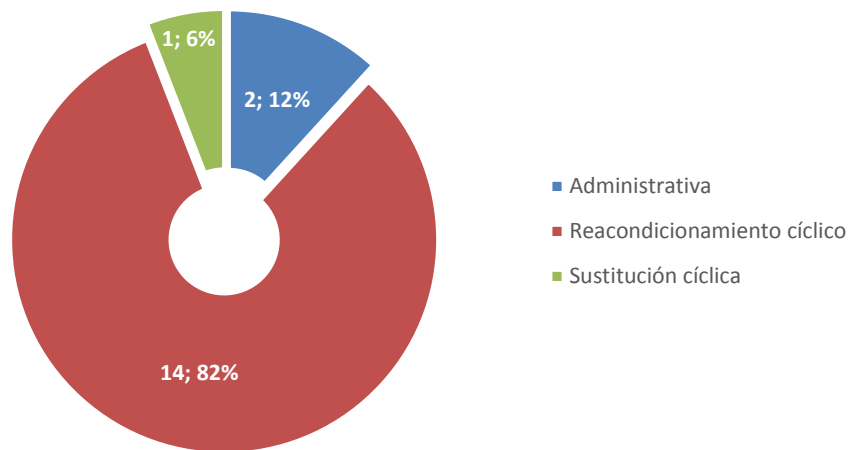


Fuente: El Autor

Al 84% de las actividades se les amplia la frecuencia de ejecución ya que debe ser un trabajo planificado entre diferentes especialidades, actualmente sobre este equipos no se tiene ninguna intervención, es recomendable realizar esta intervención por los años de operación que ya tiene esta locación.

Después de la optimización se definieron 17 actividades que deben ser ejecutadas por personal de instrumentación, este plan de mantenimiento se debe ejecutar cada dos años. (Referencia del fabricante).

Figura 52. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta VA 69



Fuente: El Autor

7.3.9.1 Resumen General MS_1 (Flame Arrestor 12M (PCS))

Resumen general de las hoja de ruta establecida para el Flame Arrestor; la optimización se puede ver en mayor profundidad en el anexo.

Tabla 45. Hoja de Ruta MS 1 Flame Arrestor 12M (PCS)

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
DM_MS 1 (Modificar)	2 años	17	2 Instrumentistas	260 min

*Tiempo efectivo por instrumento

Fuente: El Autor

NOTA: *En el Anexo B. PMO_DP_MS_1_flame_arrestor_flare_system, se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.*

7.4 INSTRUMENTOS INYECCIÓN DE QUÍMICA

Se realizó la revisión de la totalidad de la instrumentación de las bombas del sistema de inyección de química, lo cual es bueno resaltar que varios de ellos en la actualidad no tienen plan de mantenimiento asociado.

Tabla 46. Hojas de Ruta de Instrumentación de Bombas de Químico

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
Inspección	7 días	4	1 Operador	15 min
PU 3_27	6 meses	16	1 Mecánicos 1 Electricista	115 min
PU 3_28	1 año	19	2 Mecánicos 1 Electricista	215 min
PU 3_29	2 años	21	2 Mecánicos 1 Electricista	405 min

*Tiempo efectivo en ejecución por equipo

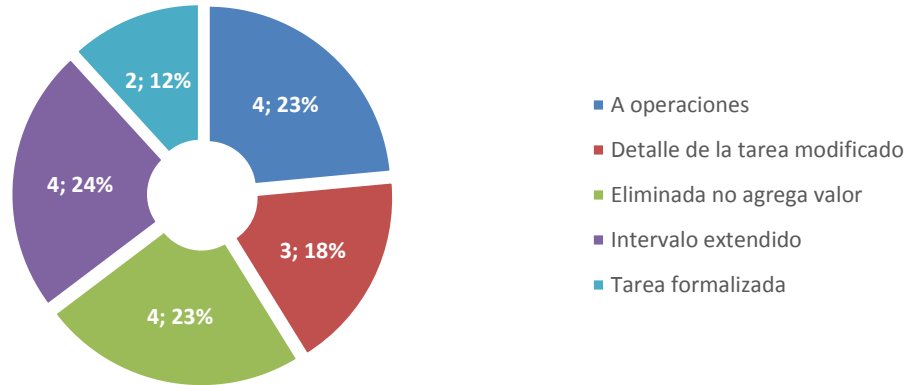
Fuente: El Autor

7.5 HOJAS DE RUTA DE BOMBAS DE INYECCIÓN DE QUÍMICA.

7.5.1 Hoja de Ruta PU 3_27.

La hoja de ruta DP_PU 3_27 contiene 17 actividades de mantenimiento, en el siguiente gráfico se muestra la distribución de como ha quedado el plan de mantenimiento después de la optimización realizada a la hoja de ruta actual.

Figura 53. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta PU 3_27



Fuente: El Autor

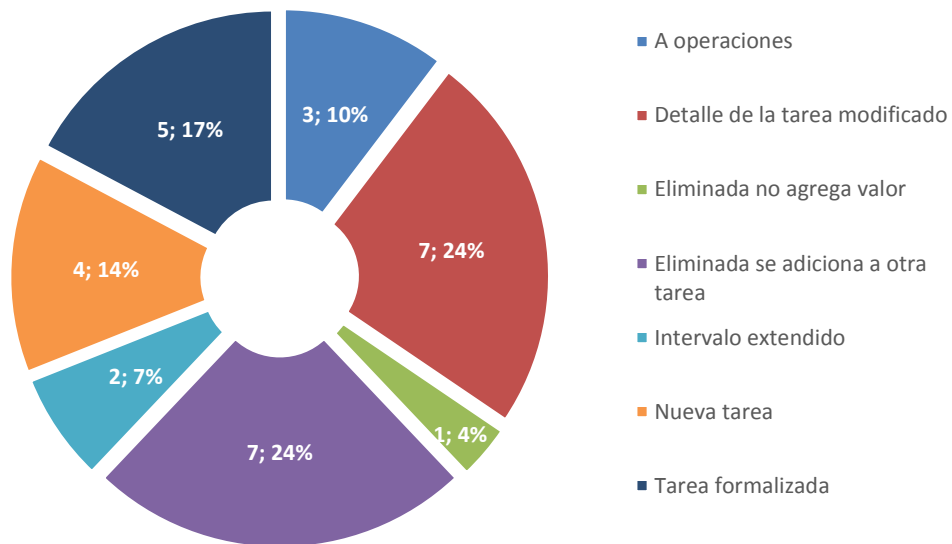
Del total de tareas estipuladas en esta hoja de ruta PU 3_27 se identificaron que son actividades de inspección y que según recomendaciones del fabricante deberían ser realizadas semanalmente, es decir deberían estar siendo ejecutadas dentro de un rutina básica de cuidado de equipos, al revisar también las tareas de inspección que ejecutan los operadores en campo, estas ya están dentro de su rutina diaria, las actividades son verificar valores operativos e inspeccionar niveles.

La baja tasa de falla y las inspecciones realizadas por el operador hacen que las tareas descritas en esta hoja de ruta puedan ser adoptadas por el operador, aquellas tareas que se vieron podrían ser de mayor relevancia, las cuales se trasladaron a la frecuencia semestral, la ampliación de estas frecuencias y la formalización de las inspecciones realizadas por el operador beneficiaría en la reducción de los costos logísticos y la distribución de horas hombre en actividades de mayor relevancia.

7.5.2 Hoja de Ruta PU 3_28.

La hoja de ruta VE 3_28 tiene establecidas 25 actividades de mantenimiento preventivo, en la figura 54 se muestra la distribución de las acciones tomadas sobre las tareas después de los talleres de PMO para las operaciones descritas en la hoja de ruta actual.

Figura 54. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta PU 3_28



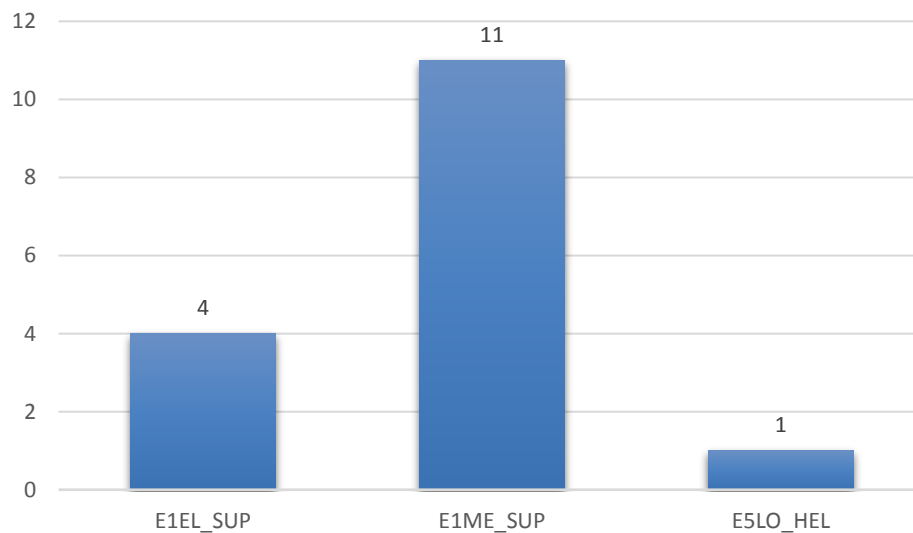
Fuente: El Autor

Se modificó las descripciones de las actividades de mantenimiento a siete tareas, (24%) con la finalidad de dar mayor comprensión a los técnicos de los trabajos que se debe ejecutar en campo, se formalizaron cinco tareas (17%) las cuales quedaron descritas tal como está en su plan de mantenimiento actual y bajo su misma frecuencia, se elimina una tarea (4%) por que no elimina la ocurrencia de ningún modo de falla, tres de las tareas (10%) previstas en la hoja de ruta se ampliaron el

intervalo de ejecución ya que los modos de falla prevenibles con estas actividades solo se han desarrollado en una ocasiones durante los 891 días análisis y pueden ser ejecutadas dentro de la rutina anual de las bombas, siete tareas (24%) se adicionaron a otra tarea para fortalecer la descripción de la actividad ya que al unión de las dos podría mitigar la ocurrencia de las fallas.

Después del análisis de esta hoja de ruta, se consolidaron 16 actividades preventivas distribuidas entre las especialidades de mantenimiento mecánico e electricidad, para cada una de las especialidades está contemplada la operación de notificación de horas, por lo tanto actividades netas de ejecución de mantenimiento son 13.

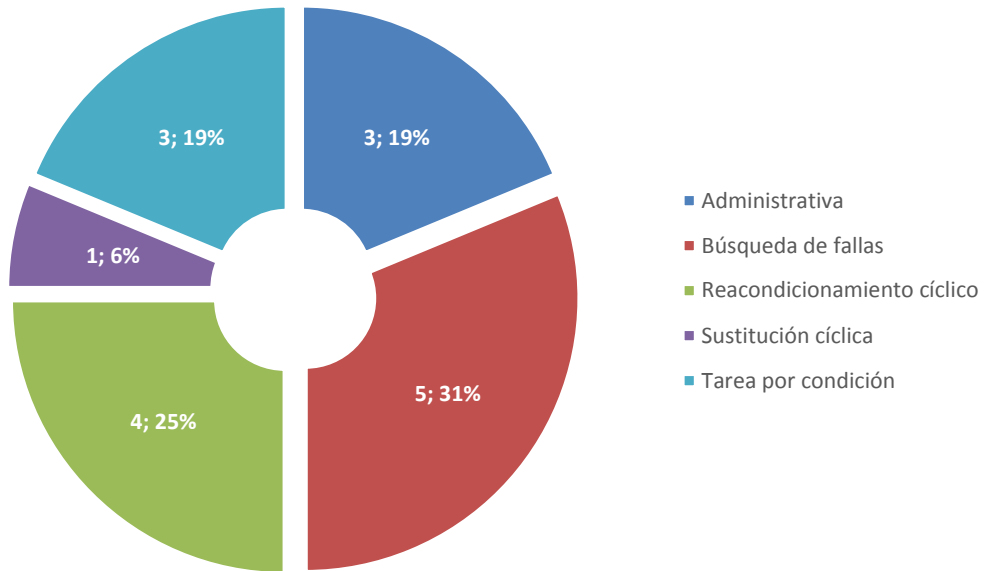
Figura 55. Distribución de Actividades por Especialidad



Fuente: El Autor

De las 16 actividades de mantenimiento definidas para esta hoja de ruta, el 31% son tareas de búsqueda de falla que involucran mediciones o inspecciones para evaluar su comportamiento, cuatro son tarea de reacondicionamiento del equipo.

Figura 56. Tipos de Tareas Definidas para la Hoja de Ruta PU 3_28

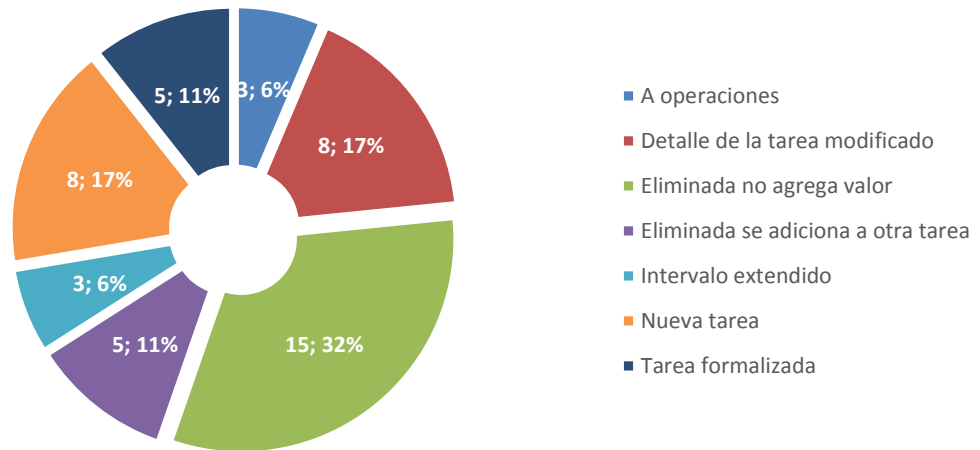


Fuente: El Autor

7.5.3 Hoja de Ruta PU 3_29.

La hoja de ruta DP_PU 3_29 está conformada por 40 tareas de mantenimiento, en la figura 57 se muestra la distribución de las acciones tomadas después del proceso de optimización.

Figura 57. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta VE 8



Fuente: El Autor

De las tareas originales de la hoja de ruta se modificaron las descripciones de diecinueve actividades de mantenimiento, este trabajo fue desarrollado en conjunto con los técnicos ejecutores de los mantenimientos lo que permite que estas descripciones estén alineadas a sus conceptos y cuando se tenga que ejecutar el mantenimiento ellos vean reflejada en la hoja de ruta las tareas que realmente se deben hacer.

En el proceso de revisión de las actividades de mantenimiento se ampliaron las frecuencias de algunas actividades por la baja frecuencia de falla que se tiene en estos equipos por los modos de falla que podrían prevenir, adicionalmente también se adicionaron tareas de mayor alcance en una frecuencia bianual lo que nos ayudaría a restablecer la condición de estos componentes a un estado inicial por tratarse de tareas de sustitución cíclica.

7.5.3.1 Resumen General de Hojas de Ruta Asociadas a las Bombas de Inyección de Química

A continuación se muestra 4 hojas de ruta, relacionando la frecuencia, el responsable y el tiempo de duración de la actividad para las bombas de inyección de químico.

Tabla 47. Hojas de Ruta de Bombas de Inyección

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
Inspección	7 días	4	1 Operador	15 min
PU 3_27	6 meses	16	1 Mecánicos 1 Electricista	115 min
PU 3_28	1 año	19	2 Mecánicos 1 Electricista	215 min
PU 3_29	2 años	21	2 Mecánicos 1 Electricista	405 min

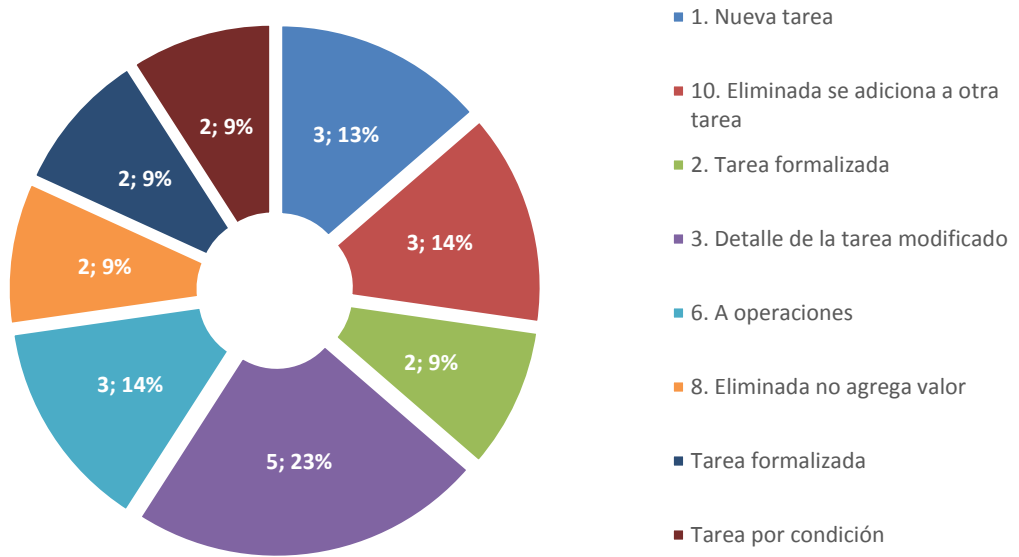
*Tiempo efectivo en ejecución por equipo

Fuente: El Autor

7.6 Hojas de Ruta Bombas de Exportación

La hoja de ruta PU2 66 contiene 17 actividades de mantenimiento, en el siguiente gráfico se muestra la distribución de como ha quedado el plan de mantenimiento después de la optimización realizada a la hoja de ruta actual.

Figura 58. Estatus de las Tareas Analizadas Hoja de Ruta PU2 66



Fuente: El Autor

Al 23% de las tareas analizadas se les realizaron modificaciones en la redacción de su contenido debido a que fueron unificadas con otras tareas ya existentes para dar una mayor comprensión de lo que se debe realizar o se modificaron en beneficio de que fuesen de fácil comprensión para el técnico y así se ejecute en pro de eliminar el modo de falla. Se asignan tareas básicas y no intrusivas a operaciones para que realicen durante sus rutinas operativas, se asignan tareas de mantenimiento basado en condición para la predicción temprana de fallas.

Este mismo proceso de optimización se realizó para todas las hojas de ruta asociadas a estas bombas, dentro de las cuales se establecieron las frecuencias apropiadas de ejecución de cada una de las actividades, la inclusión de las técnicas predictivas, también se definieron tareas de sustitución de componentes para el mantenimiento de 4 años de tal forma que se pueda tener una mejor confiabilidad

del equipo; de estas tareas se eliminaron aquellas que estaban duplicadas, que no agregaban valor aquellas que se adicionaron a otra tareas para mejorar la descripción de lo que se debería realizar en la tarea.

7.6.1 Resumen General de Hojas de Ruta Asociadas a las Bombas de Exportación

Hoja de Ruta	Frecuencia	# de actividades hoja de Ruta	Personal	Tiempo efectivo de ejecución*
Inspección	7 días	3	1 Operador	15 min
PU2_66	3 meses (2000 Hr)	14	1 Mecánicos 2 CBM	170 min
PU2_65	6 meses (4000 Hr)	19	2 Mecánicos 1 Instrumentistas 2 CBM	815 min
PU2_64	1 Año (8000 Hr)	25	2 Mecánicos 1 Instrumentistas 1 Electricista 2 CBM	1105 min
PU2_63	2 Año (16000 Hr)	25	2 Mecánicos 1 Instrumentistas 1 Electricista 2 CBM	1445 min
PU2 (Crear)	4 Año (32000 Hr)	29	2 Mecánicos 1 Instrumentistas 1 Electricista 2 CBM	2435 min

*Tiempo efectivo en ejecución por equipo

Fuente: El Autor

NOTA: En el Anexo B. PMO_DP_PU2_63_64_65_66 Rev4 se encuentran las tablas con las hojas de análisis utilizadas para el PMO y el plan de mantenimiento optimizado.

8. HALLAZGOS Y RECOMENDACIONES

8.1 HALLAZGOS

- ✓ Después de revisar los eventos que se han tenido en las bombas y lo manifestado por los técnicos mantenedores, al momento de intervenir las bombas de inyección de química no se cuenta con el stock adecuado de repuestos, lo que ocasiona dificultad para la ejecución de los mantenimientos.
- ✓ Varias de las actividades establecidas para la locación son intervenciones mensuales que tienen como alcance la revisión de parámetros operativos e intervenciones no intrusivas sobre los equipos.
- ✓ Algunos de los instrumentos no están cargados en el SAP.
- ✓ Existen componentes (repuestos) e instrumentos sin codificar en el SAP.
- ✓ Los equipos rotativos de las locaciones no tienen plan de mantenimiento predictivo.
- ✓ Se recomienda la verificación de materiales de la instrumentación y componentes mecánicos de la locación para determinar los números de parte correspondientes, para que sean codificados.
- ✓ Crear instrumentación faltante en la jerarquía funcional actual del SAP-PM y vincular la hoja de ruta tal como definió en el proceso de optimización.
- ✓ Implementar las hojas de ruta propuestas en este proceso de optimización para determinar.

9. CONCLUSIONES

- El proceso de optimización actual contribuye no solo a mejorar los requerimientos de mantenimiento de una serie de activos, sino que permite consolidar una cultura que beneficie la productividad y el clima organizacional de la estructura de mantenimiento; por lo anterior es importante que se interioricen estas oportunidades de mejora por parte del personal.
- Se recomienda realizar una divulgación con todo el personal de mantenimiento, para exponer los beneficios que brinda el contar con un CMMS con las capacidades ofrecidas por SAP-PM para la gestión de mantenimiento. (Historial de mantenimiento y planeación estratégica de mantenimiento).
- Implementar los puntos de medida en el CMMS SAP, para que los datos operativos que pueda capturar el operador o mantenedor sirvan como herramienta de decisión.
- El proceso implementado permite conocer en totalidad los requerimientos de los equipos ya que se optimizan los planes de mantenimiento, estableciendo las tareas que se deben ejecutar, los repuestos y los materiales necesarios para cada actividad.
- Implementar los planes de mantenimiento estipulados en este proceso de optimización, ayudaría a maximizar la mantenibilidad de los equipos y contribuiría a minimizar los costos por intervenciones que no agregan valor.

- Replicar este proceso de optimización a las demás locaciones del bloque productor y en la de procesamiento de gas, para que la totalidad e activos puedan estar diseñada en un modelo de confiabilidad, que garantice una maximización de la producción.

RECOMENDACIONES

- ✓ Revisar los puntos actuales de stock (Mínimo, máximo y seguridad) para garantizar que siempre se tienen los materiales para la ejecución de los mantenimientos en las bombas.

- ✓ Adecuar las rutinas operativas del operador de locaciones tal como se establece en los programas de inspección (Cuidado básico de equipos), para que lleven el registro de parámetros operativos de funcionamiento o intervenciones de bajo riesgo como el completamiento de aceite.

10. BIBLIOGRAFÍA

AMENDOLA LUIS, Balanced Scorecard en la Gestión del Mantenimiento, 2012.

BALLESTEROS CORREA Fredy, Metodología para Implementar Modelo de Confiabilidad Basado en PMO para Concretos Argos, Especialista en Gerencia de Mantenimiento, Universidad Industrial de Santander 2012, pág. 34-35.

CAMPODÓNICO Humberto, La industria del gas natural y su regulación en América Latina, Revista de la CEPAL 68, Lima.

GUERRA Efrén José Gas Seco, [En línea]. (Recuperado el 12 enero 2017.) Disponible en <https://es.scribd.com/doc/122379766/GAS-SECO>.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM 2. Edición en español. 2004. p. 7 – 18.

NEGOCIOS & PETRÓLEO [Anónimo], Proyección de reservas petroleras y de gas en América Latina, del onshore al offshore, 2015.

PARRA Carlos, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, INGEMAN, 2008; 3-25. Norma SAE JA1011, Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.

RADU Cristian POPESCU*, Gheorghe OBACIU, maintenance strategies used in industrial plants, University of Brasov, Romania.

REFINERÍA DE GAS PSE, Resumen del Proceso Planta, DOC-PERMAL-0001P, Planta de Gas PSE, Septiembre 2014.

REFINERÍA DE GAS PSE, Sistema de Producción en C3, DOC-PERMAL-0009C,
Planta de Gas PSE, Septiembre 2014.

Tendencias Actuales del Mantenimiento Industrial [Anónimo], Sianis, Ingeniería de
mantenimiento.

TURNER, Steve. Análisis Mantenimiento de Futuro PMOptimisation PMO2000.
Australia, Northwestern University - Kellogg School of Management Universidad
Chapman